

MINISTERIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ARTES
PÓS-GRADUAÇÃO EM ARTES
ESPECIALIZAÇÃO EM PATRIMÔNIO CULTURAL E CONSERVAÇÃO DE ARTEFATOS



Monografia

A ELETRÓLISE NA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO
FERROSO DAS MISSÕES JESUÍTICAS/RS

Fabio Barreto da Silva

Pelotas, 2018

Fabio Barreto da Silva

A ELETRÓLISE NA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO
FERROSO DAS MISSÕES JESUÍTICAS/RS

Monografia apresentada ao Curso de Pós-graduação em Artes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Patrimônio Cultural e conservação de artefatos.

Orientador: Prof. Dr. Jaime Mujica Sallés

Pelotas, 2018

Banca examinadora:

Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Costa de Oliveira (UFPel)

Prof.^a Dr.^a Daniele Baltz da Fonseca (UFPel)

Prof. Dr. Jaime Mujica Sallés (UFPel-Orientador)

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof^o. Dr. Jaime Mujica Sallés, pela amizade, companheirismo, atenção e dedicação na orientação desse trabalho e pelo grande apoio dado no desenvolvimento desse estudo.

A banca examinadora formada pelas Professoras Ana Lúcia Costa de Oliveira e Daniele Baltz da Fonseca, que tão prontamente se dispuseram a aceitar fazer parte da banca.

A minhas colegas Márcia Regina Ribeiro Dutra e Jennifer Cazaubon, pelo companheirismo e amizade, o que fez dessa jornada, uma caminhada tranquila.

Um agradecimento especial à Márcia Regina Ribeiro Dutra, que mesmo com tanto à fazer, em muitos momentos não negou esforços em me auxiliar na preparação desse trabalho, tanto nas atividades de laboratório como nas suas horas particulares.

Resumo

SILVA, Fabio Barreto. **A ELETRÓLISE NA CONSERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUEOLÓGICO FERROSO DAS MISSÕES JESUÍTICAS/RS**. 2018. 84 f. Monografia – Curso de Pós-Graduação em Artes: Especialização em Patrimônio Cultural e Conservação de Artefatos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Os metais constituem um amplo grupo de materiais que se modificam a partir de combinações entre si e com os não metais, originando ligas de composição variada e propriedades distintas. Estes vêm ajudando o homem a vencer os mais diversos desafios, desde a sua descoberta e domínio. No decorrer do tempo, a produção e uso de artefatos metálicos, foram gerados, uma gama enorme de bens culturais, os quais se incorporaram às coleções museológicas e de inúmeros colecionadores particulares. Para que esse valioso patrimônio cultural não se perca, é preciso conservá-lo e para que isso seja realizado da forma mais adequada é necessário que mecanismos sejam desenvolvidos e testados em laboratórios. Este trabalho teve por objetivo abordar a metodologia desenvolvida nos últimos anos sobre a conservação de bens culturais metálicos, através da redução eletrolítica, eletrólise, no Laboratório Multidisciplinar de Investigação Arqueológica - LÂMINA. A metodologia para a pesquisa realizada consistiu, em termos gerais, em ampliar o melhoramento no sistema eletrolítico já utilizado no LÂMINA, desenvolver um protótipo de cuba eletrolítica que suporte tratar vários artefatos metálicos de pequeno porte ao mesmo tempo, e que utilize, para isso, uma única fonte elétrica. Busca-se também, dar celeridade e apoio ao tratamento de um importantíssimo e volumoso acervo arqueológico metálico, com alto grau de deterioração, que está sendo tratado no laboratório LÂMINA. Os principais resultados obtidos foram: o protótipo, embora que, ainda necessite de pequenos ajustes, está instalado e funcionando conforme o previsto; o processo de tratamento nos artefatos ganhou em tempo, economia, e praticidade.

Palavras – chaves: Patrimônio Cultural. Artefatos Ferrosos. Conservação Curativa. Redução Eletrolítica.

Abstract

SILVA, Fabio Barreto. **THE ELECTROLYSIS IN THE CONSERVATION OF FERROUS ARCHAEOLOGICAL HERITAGE OF THE JESUITIC MISSIONS / RS.** 2018. 84 f. Monography - Postgraduate Course in Arts: Specialization in Cultural Heritage and Conservation of Artifacts. Federal University of Pelotas, Pelotas, RS.

Metals constitute a large group of materials which change from combinations with each other and with non-metals, resulting in alloys of varied composition and different properties. These have helped man to overcome the most diverse challenges, from his discovery and dominion. Over time, the production and use of metallic artifacts have been generated, a huge range of cultural artifacts, which have been incorporated into museum collections and numerous private collectors. In order for this valuable cultural heritage not to be lost, it must be preserved, and for this to be carried out in the most appropriate way, mechanisms must be developed and tested in laboratories. This work had the objective of approaching the methodology developed in the last years on the conservation of metallic cultural artifacts, through the electrolytic reduction, electrolysis, in the Multidisciplinary Laboratory of Archaeological Investigation - LÂMINA. The research methodology consisted, in general terms, of extending improvements in the electrolytic system already used in the LÂMINA, developing a prototype of an electrolytic cell, which supports treating several small metal artifacts at the same time, a single electrical source. It also seeks to expedite and support the treatment of a very important and voluminous metallic archaeological collection, with a high degree of deterioration, that are being treated in the LÂMINA laboratory. The main results obtained were: the prototype, although still requiring minor adjustments, is installed and functioning as expected; the treatment process in the artifacts gained in time, economy, and practicality.

Keywords: Cultural Heritage. Ferrous Artifacts. Healing Conservation. Electrolytic Reduction.

Índice de Figuras

Figura 1 - Sistema eletrolítico com uma fonte.	39
Figura 2 - Sistema eletrolítico Tipo 2 com uma fonte cada artefato.	39
Figura 3 - Sistema eletrolítico Tipo 3 - C, com uma fonte.	40
Figura 4 - Sistema eletrolítico Tipo 3 - D, com uma fonte.	41
Figura 5 - Sistema eletrolítico D, com uma fonte.....	42
Figura 6 - Equipe do LÂMINA e Equipe IPHAN RS - Recebimento dos primeiros artefatos	48
Figura 7 - Palestra sobre combate a principio de incêndio.....	49
Figura 8 - Prática com extintores no LÂMINA.	49
Figura 9 - Aulas técnica de desenho arqueológico Prof. Pedro.....	50
Figura 10 - Instalação de extintores e placas de sinalização e emergência.....	50
Figura 11 - chuveiro de emergência e lava olhos.....	51
Figura 12 - Cuba eletrolítica existente.....	53
Figura 13 - Nova cuba de vidro	54
Figura 14 - Cuba de vidro atual e cuba PVC existente.....	54
Figura 15 - Fonte computador existente.....	55
Figura 16 - Primeiro teste - fonte celular.	56
Figura 17 - Desmontagem da fonte existente para adaptação.....	58
Figura 18 - Fonte computador 2 montada e em teste funcional	58
Figura 19 - Segunda versão da fonte adaptada.	59
Figura 20 – Multímetros para registro de tensão e corrente elétrica.	60
Figura 21 - Tela aço como material para o ânodo.....	60
Figura 22 - cabos com garra tipo "boca de jacaré".....	61
Figura 23 - Perfis alumínio utilizados como ânodo.....	61

Figura 24 - Tela de aço macia como ânodo cobrindo parcialmente no fundo da cuba	62
Figura 25 - Tela de aço macio formando o ânodo final	63
Figura 26 - Ficha registro inicial artefato	64
Figura 27 - Continuação Ficha registro inicial do artefato	65
Figura 28 - Registro fotográfico inicial	66
Figura 29 - Análise com lupa estereoscópica e microscópio USB	67
Figura 30 - Pesagem inicial do artefato.....	67
Figura 31 - Registro das medidas iniciais com paquímetro eletrônico	68
Figura 32 - Desenho técnico manual com as patologias.....	69
Figura 33 - Limpeza manual da ferradura com bisturi	70
Figura 34 - Limpeza manual com uso da sonda exploradora.....	70
Figura 35 - Limpeza mecânica com micro retifica	71
Figura 36 - Artefato pós-limpeza manual/mecânica	71
Figura 37 - Tratamento por redução eletrolítica na ferradura.	73
Figura 38 - Aplicação de inibidor de corrosão – ácido tânico	74
Figura 39 - Pós-tratamento com ácido tânico.....	75
Figura 40 – Tratamento final com camada de proteção	75
Figura 41 - Inserção do registro final no banco de dados eletrônico do LÂMINA.....	75
Figura 42 - Preparação dos cravos para tratamento. ...	Erro! Indicador não definido.
Figura 43- Tratamento redução eletrolítica de 10 cravos metálicos	77
Figura 44 - artefato 4888 antes e depois tratamento eletrolítico.....	80

Lista de tabelas

Tabela 1 - evolução dos metais e a data aproximada de uso generalizado. ..	18
Tabela 2 - relação dos artefatos.	76
Tabela 3 – controle no primeiro dia de tratamento.	78
Tabela 4 – controle no segundo dia de tratamento.....	79
Tabela 5 – controle no terceiro dia de tratamento.	79
Tabela 6 - controle no quarto dia de tratamento.	80

Sumário

INTRODUÇÃO	13
CAPITULO 1 – O FERRO NA HISTÓRIA DA HUMANIDADE	16
1.1 – Breve história dos metais.	16
1.1.1 – Técnicas de produção do ferro.....	19
1.1.2 – Técnica da forja.....	20
1.1.3 – O aço.....	21
1.1.4 – Ferro arqueológico das Missões	21
CAPITULO 2 – MECANISMOS DE CORROSÃO E CAUSAS DE DEGRADAÇÃO DO FERRO ARQUEOLÓGICO	24
2.1 - Reações metálicas.....	25
2.2 - Formas de corrosão	26
2.2.1 - Corrosão uniforme	26
2.2.2 - Corrosão galvânica	26
2.2.3 - Corrosão alveolar ou <i>pitting</i>	26
2.2.4 - Corrosão cavernosa.....	27
2.2.5 - Corrosão filiforme.....	27
2.2.6 - Corrosão intragranular	27
2.2.7 - Corrosão seletiva	27
2.3 - Métodos tratamento de artefatos metálicos	28
2.3.1 - Métodos manuais.....	28
2.3.2 - Métodos químicos	28
2.3.3 - Método Eletroquímico	30
2.3.3.1 - Limpeza galvânica.....	30
2.3.3.2 - Método eletrolítico.....	31
CAPÍTULO 3 – REDUÇÃO ELETROLÍTICA	32
3.1 – Materiais para o sistema eletrolítico	34

3.1.1 – Fontes de alimentação	34
3.1.2 – Cabos terminais e grampos.....	35
3.1.3 – Material do ânodo.....	36
3.1.4 – Recipientes.....	37
3.2 – Tipos de montagem eletroquímica	38
3.3 – Solução eletrolítica	42
3.3.1 – Hidróxido de sódio.....	42
3.3.2 – Carbonato de sódio	43
3.3.3 – Água dos eletrólitos	43
3.4 – Densidades da corrente elétrica.....	44
3.5 – Camadas de proteção	45
CAPÍTULO 4 – CONSERVAÇÃO DE ARTEFATOS ARQUEOLÓGICOS FERROSOS	46
4.1 – O Laboratório Multidisciplinar de Investigação Arqueológica (LÂMINA)	46
4.2 – Materiais e técnicas.....	51
4.2.1 – Lista de materiais	51
4.2.2 – Lista insumos	52
4.2.3 – Equipamentos de proteção individual e coletivo.....	52
4.2.4 – Materiais diversos	52
4.3 – Materiais para protótipo.....	52
4.3.1 – Cuba eletrolítica	52
4.3.2 – Fonte de alimentação	54
4.3.2.1 – Fonte existente	55
4.3.2.2 – Fonte 1 – Carregador de celular.....	56
4.3.2.3 – Fonte 2 – Fonte de computador	56
4.3.2.4 – Fonte 3 – Fonte de computador	59

4.3.3 – Multímetros digitais.....	59
4.3.5 – Cabos com garra tipo boca de “jacaré”	61
4.4 – Montagens do sistema	61
4.5 – Técnicas de tratamento	63
4.5.1 – Seleção dos artefatos.....	63
4.5.2 – Tratamento 1 - Ferradura	63
4.5.2.1 – Ficha Individual.....	63
4.5.2.2 – Registro fotográfico inicial	66
4.5.2.3 – Análise do artefato através da lupa	66
4.5.2.4 – Pesagem e medições	67
4.5.2.5 – Desenho técnico.....	68
4.5.2.6 – Limpeza manual – mecânica.....	69
4.5.2.7 – Limpeza por redução eletrolítica	72
4.5.2.8 – Tratamento com inibidor de corrosão	73
4.5.3 – Tratamento 2 - Conjunto de cravos	76
4.5.4 – Quadro de controle tratamento eletrolítico.....	78
4.5.5 – Registro fotográfico antes e depois do tratamento eletrolítico.....	80
Considerações finais	81
Referências	82

INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve como objetivos aplicar e experimentar o método eletroquímico – eletrólise, na limpeza de materiais ferrosos, através redução eletrolítica dos compostos corrosivos nos artefatos arqueológicos a base de ligas de ferro, como o ferro forjado, aços, ferro fundido. Este procedimento, já utilizado como prática comum no Laboratório Multidisciplinar de Investigação Arqueológica (LÂMINA)¹, foi assim aprimorado.

O foco principal deste estudo foi ancorado na eficácia, na simplicidade e no baixo custo de execução que este método oferece; isso o torna adequado à aplicação em qualquer laboratório que trate objetos arqueológicos metálicos de pequenas dimensões sem a necessidade de utilização de uma alternativa mais dispendiosa.

A eletrólise empregada na conservação preventiva de artefatos metálicos consiste na remoção dos produtos de corrosão de um determinado metal através do emprego de uma corrente elétrica contínua. No presente estudo, interessa-nos tanto a remoção desses produtos, como também, o desenvolvimento de um sistema prático, que consiga atender, de forma satisfatória, a um conjunto de artefatos ao mesmo tempo, utilizando-se de apenas uma fonte de alimentação externa.

Este trabalho procurou contribuir de forma prática e efetiva, com o melhoramento de um protótipo de cuba eletrolítica, visando ajudar no tratamento de um importantíssimo e volumoso acervo arqueológico metálico, com alto grau de deterioração, que está sendo tratado no laboratório LÂMINA. O referido acervo, conta com aproximadamente 800 artefatos metálicos oriundos dos sítios arqueológicos das Missões Jesuíticas do estado do Rio Grande do Sul. Tal acervo foi confiado aos cuidados do laboratório através de um convênio de cooperação entre a UFPEL/LÂMINA e o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

¹ O Laboratório Multidisciplinar de Investigação Arqueológica - LÂMINA é ligado ao Instituto de Ciências Humanas, (ICH), da Universidade Federal de Pelotas, (UFPEL).

Vale aqui lembrar, que uma grande variedade de métodos e fórmulas para o tratamento e a recuperação de metais arqueológicos vem sendo desenvolvida ao longo dos anos, visando não só conter, mas também reverter os processos corrosivos que, se não forem tratados, podem destruir por completo qualquer acervo metálico.

No caso dos artefatos das Missões Jesuíticas, Carle (1993, pag. 82) já chamava a atenção para a perda desse importantíssimo patrimônio. “O período de permanência deste material fora do solo de origem tem paulatinamente destruído as peças, por não receberem as medidas necessárias de conservação”.

Conforme Carle (1993, pag. 81), a eletrólise, aliada aos novos produtos de conservação, seria um dos melhores tratamentos a ser aplicado nos metais após sua remoção do solo em que se encontravam.

Todavia, antes de prosseguirmos tratando de qualquer processo interventivo, precisamos conhecer rapidamente, um pouco da história, da composição e dos processos danosos que envolvem o ferro, esse metal que serviu não somente para demarcar uma época da evolução humana, mas proporcionou à humanidade desenvolver-se até nossos dias e guarda um passado histórico valioso, e que buscamos preservar para entender nossa existência.

No primeiro capítulo, veremos um breve relato sobre a história do ferro, esse importante material, que é considerado um marco significativo para a humanidade principalmente no que se refere a questões relacionadas com o desenvolvimento tecnológico. Desde a Pré-História, a produção de metais foi se expandindo rapidamente, incluindo também, nessa expansão, as ligas de metais nobres e menos nobres, bem como metais cada vez mais puros, formando um importante conjunto patrimonial de referência econômica e sociocultural (SILVA; HOMEM, 2008, p.9).

No segundo capítulo, estudaremos as formas de mecanismos de degradação dos metais, onde veremos que essa degradação ocorre principalmente pela corrosão, provocada por ação dos processos eletroquímicos, com os quais uma ou mais reações ocorrem sobre a superfície do metal, e que resulta na transformação de parte desse elemento do estado metálico para o não metálico, a citar como exemplo, um óxido (LAGO, 2009).

No terceiro capítulo conheceremos um pouco da história do LÂMINA, o qual se firmou como um importante ponto de referência no tratamento de materiais arqueológicos, entre estes tratamentos está o emprego da eletrólise. O LÂMINA desde a sua implementação, tem constantemente evoluído, a busca de conhecimentos e a pesquisa proporcionam a capacitação e a formação de profissionais cada vez mais habilitados. Sua equipe de pesquisadores e colaboradores, composta por um corpo técnico, docentes e profissionais formados na área de Conservação e Restauro, Antropologia, Arqueologia, Museologia, além de discentes estagiários das mais diversas áreas do conhecimento. Essa multidisciplinaridade, faz do LÂMINA um local de pesquisa diferenciado.

No quarto capítulo, é demonstrado os materiais e as técnicas utilizadas na montagem do protótipo de cuba eletrolítica projetada, bem como, seu uso prático no tratamento de um lote de artefatos metálicos. O estudo se limitou a estudar e montar um sistema que possa servir de modelo a ser usado, tanto pelo LÂMINA, como por qualquer outro laboratório que disponha de poucos recursos e um local mínimo para implantar o sistema.

CAPITULO 1 – O FERRO NA HISTÓRIA DA HUMANIDADE

1.1 – Breve história dos metais.

O surgimento dos metais é considerado um marco significativo para a história da humanidade, principalmente no que se refere a questões relacionadas com o desenvolvimento tecnológico. Desde a Pré-História, a produção de metais foi se expandindo rapidamente, incluindo também, nessa expansão, as ligas de metais nobres e menos nobres, bem como metais cada vez mais puros, formando um importante conjunto patrimonial de referência econômica e sociocultural (SILVA; HOMEM, 2008, p.9).

Os metais que inicialmente eram utilizados em seu estado nativo, passaram a ser extraído de minerais. Por suas características peculiares, os metais apresentaram, ao homem primitivo, inúmeras vantagens em trabalhar o metal a sua forma pretendida, em relação a se trabalhar a pedra. Os metais podiam ser vazados, deformados e endurecidos através de trabalho a frio² ou abrandado através do calor (COSTA, 2008, p.15). O homem, aproveitando dessas facilidades, passou então a explorar o metal de diversas maneiras.

No começo, o cobre, o estanho e o bronze eram os metais utilizados pelo homem para a produção de seus objetos. Esses metais e suas ligas são caracterizados por possuírem o ponto de fusão mais baixo que os demais metais. Com a evolução das técnicas de produção, o homem introduziu arsênio, estanho e chumbo ao cobre, que além de melhorar a fluidez do metal durante o vazamento, resultava em um material com uma dureza superior ao metal puro, eliminando assim, a necessidade de se trabalhar o metal posteriormente através de martelamentos (COSTA, 2008, p. 15).

A rapidez com que essas mudanças ocorriam, variava muito de região para região, fazendo com que o uso dos metais, provocasse uma grande transformação social. O uso do metal popularizou-se rapidamente e passou a ser largamente empregado como matéria prima para a produção de uma gama enorme de materiais como, ferramentas, armas e utensílios diversos para o dia a dia da sociedade.

² Ferro forjado, ferro fundido, ferro batido são maneiras de se trabalhar o ferro.

Com a evolução da metalurgia, devido ao emprego das forjas e foles, os povos hititas conseguiram produzir, o ferro, um metal muito mais resistente que os metais até então produzidos. Para produzir o ferro, o homem precisou aprimorar as técnicas rudimentares de produção e alcançar temperaturas muito altas para que a fusão do minério ocorresse. Com o passar do tempo e a melhoria nas técnicas de forjamento, outras ligas metálicas foram desenvolvidas. Sobre essa evolução, COSTA (2008) relata:

“A seguir foi a vez do ferro, usado inicialmente proveniente de meteoritos e mais tarde, a partir de minerais que eram certamente refinados à alta temperatura em presença de carvão”.

O processo de resfriamento do metal (Fe) provoca a difusão do carbono na superfície do ferro, formando uma liga, o aço, substancialmente mais duro que o bronze. Além disso, devido à abundância de ferro na crosta terrestre e facilidade de mineração, o aço foi progressivamente substituindo o bronze em muitas aplicações. O conhecimento do papel central desempenhado pelo carbono na composição das ligas, somente no Séc. XVIII foi esclarecido e compreendido (COSTA, 2008, p. 15-16).

Destacadamente, os povos hititas, foram pioneiros na fundição do ferro. Por ser esse, um metal difícil de obter, seu uso ficava restrito à fabricação de pequenos artigos de ornamentação. Pelos estudos, supõe-se que a produção do ferro pelo homem no segundo milênio a. C. era pequeno e com intervalos entre uma produção e outra, gradualmente sua produção foi sendo aumentada até ser empregada em larga escala na produção de armas, por volta de 1200 – 1000 a. C.(TYLECOTE, 2002, p.47).

A evolução da produção e uso do ferro, também ocorreu em outras partes do mundo, embora essa evolução tenha ocorrido num processo muito lento. Esse desenvolvimento deu origem ao período que chamamos hoje de a Idade do Ferro. Muito embora o ferro já tivesse sido dominado, o bronze ainda continuou a ser largamente empregado na produção das muitas aplicações em que era necessário o emprego de metais.

Uma importante contribuição para o desenvolvimento do ferro foi dada pelo Império Romano, tanto que também temos a “Idade do Ferro Romano”, conforme relata Tylecote (2002), o Império Romano não inventou ou descobriu nenhum novo metal, nem uma liga nova ou um novo modo de usar. Deve-se ao Império Romano compilação à reunião de conhecimentos de como trabalhar metais dos diversos povos que formavam o Império e assim produzir um grande escala (armas e artefatos metálicos) (TYLECOTE, 2002, p. 62).

O Império Romano, que contava com um imenso território e um poderoso exército, necessitava armar sua tropa e servir às necessidades da população, que precisava cada vez mais de materiais e ferramentas para trabalhar. Isso provocou um enorme aumento na produção metalúrgica, causada pela necessidade de suprir a demanda do exército e da população civil romana, provocando uma grande demanda na produção de ferro e metais não-ferrosos (TYLECOTE, 2002, p. 75).

Do cobre ao alumínio, a história dos metais e sua importante relação com o desenvolvimento tecnológico da humanidade pode ser entendida através da Tabela 1.

Tabela 1 - evolução dos metais e a data aproximada de uso generalizado.

Metal	Data aproximada do primeiro uso generalizado
Cobre nativo	~7000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre nativo ~5000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre fundido
Chumbo	6000-5000 a.C. (Oriente Próximo / Balcãs)
Ouro	5000-4000 a.C. (Balcãs)
Estanho	4000-3000 a.C. (Oriente Próximo)
Prata	4000-3000 a.C. (Balcãs/Oriente Próximo)
Níquel	2000-1000 a.C. (Oriente Próximo) para cobre / ligas de níquel
Ferro	1000-0 a.C. (Oriente Próximo)
Zinco	100-200 d.C. (Roma) para cobre / ligas de zinco 900-1000 d.C. (Índia) para zinco metálico
Alumínio	1800-1900 d.C. (Europa/ Estados Unidos)

Fonte: adaptada de SELWIN, 2004.

Desde seu domínio na pré-história, o uso dos metais foi gradativamente crescendo, isso fez com que a humanidade produzisse um valioso acervo patrimonial de grande importância histórica, econômica e cultural para a humanidade.

Para entender a história do homem e suas relações com o metal, buscamos interpretar as diversas aplicações e usos atribuídos aos mais diferentes objetos metálicos produzidos no passado. Muitos deles guardam importantes registros de um passado longínquo, que podem nos transmitir o modo de viver de uma sociedade e das suas diferentes classes sociais. Por isso, a importância dada à preservação e ao estudo dos artefatos metálicos arqueológicos, constitui uma indispensável fonte de informações, as quais nos levam a entender parte do nosso passado. As mudanças estruturais, físicas e químicas, que atacam os metais e suas ligas é um assunto que desperta especial atenção, quando se trata de preservação do patrimônio metálico, onde quer que esteja tanto faz, se num museu ou numa coleção privada, seja ou não, oriunda de uma escavação de sítio arqueológico (SILVA; HOMEM, 2008, p.9).

1.1.1 – Técnicas de produção do ferro

As técnicas utilizadas para a fabricação dos artefatos de ferro contribuem diretamente na sua forma de corrosão. Um artefato de ferro forjado apresenta a mesma forma de corrosão de um ferro fundido, porém o resultado da corrosão apresenta-se diferente em cada caso (GARCIA, 1995, p.7).

Segundo GARCIA, (1995), teoricamente podemos dizer que um ferro forjado é o mesmo que um ferro puro, isso nos leva a acreditar que, naturalmente, este deveria ser mais resistente aos danos provocados pelos processos corrosivos. Todavia, ocorre que, durante o processo da forja a superposição das camadas metálicas nunca fica perfeita, ficando entre elas pequenos espaços vazios, o que futuramente pode dar início a corrosão superficial.

Estudos mostram que num primeiro momento o processo corrosivo se propaga com maior rapidez no ferro fundido que no ferro forjado, porém com o tempo, o ferro fundido se torna mais resistente aos efeitos da corrosão devido a ação da camada de proteção gráfitica que se forma em seu entorno. Isso acontece

porque durante o processo de corrosão gráfitica, o produto da corrosão reage com o ferrite e o grafite, formando uma barreira que retarda o processo corrosivo. Conhecendo esse processo fica possível compreendermos com melhor clareza o processo inicial de corrosão no metal (GARCIA, 1995).

1.1.2 – Técnica da forja

O homem primitivo ao descobrir no metal um material durável e com certo grau de facilidade para se trabalhar, deu a partida para o que seria o princípio da produção dos metais e por consequência para o início da metalurgia.

A exploração primitiva do metal se deu através da transformação deste por meio de técnicas rudimentares, onde se empregava o uso de golpes com pedras até se obter a forma desejada para o objeto. Podemos caracterizar este momento como marco inicial ao primitivo processo de trabalho por percussão, que hoje conhecemos como forja. Inicialmente esse processo era realizado diretamente sobre o metal, a frio, sem nenhum tratamento prévio, por essa característica de trabalhar o ferro, essa técnica passou a ser denominada de forja a frio. Esse processo permitia somente a produção de pequenos objetos, normalmente adornos. A produção destes objetos ficava sujeita ao tamanho do metal nativo utilizado (GARCIA, 1995, p.12).

A experiência adquirida pelo homem através da produção desses pequenos trabalhos artesanais e, possivelmente até mesmo uma casualidade, levou o homem a perceber que, através do calor o trabalho de transformar o ferro era facilitado. Essa nova maneira de trabalhar o ferro, até então desconhecido, foi designado de forja a quente. Supõe-se então, que a forja a quente introduziu um grande avanço em relação a forja a frio, possibilitando dessa forma ao homem, a moldagem de peças maiores e a produção de materiais com maior dureza, mesmo que essa dureza esteja associada à fragilidade do material, além de permitir a união de duas peças através da solda (GARCIA, 1995, p.12).

A maior dureza dada ao ferro, não se deve somente à formação das estrias longitudinais mais compactas, produzidas por sua estrutura forjada em lâminas, mas também pelo reaquecimento do material resultante do forjamento. Para a obtenção do aço, é adicionado carbono ao ferro, isso proporciona ao metal uma maior dureza. Esse procedimento pode ser aplicado mesmo em um ferro forjado, que já tenha

passado pelo processo de fundição, onde o processo de resfriamento não é suficientemente controlado (GARCIA, 1995, p.13).

1.1.3 – O aço

O ferro é um elemento químico que se encontra livre em seu estado não metálico junto à natureza. Quando puro é relativamente maleável e apresenta uma cor cinza prata. Face sua maleabilidade³, o ferro puro não é útil para a produção de ferramentas, por isso, para dar maior resistência ao ferro, normalmente é adicionado carbono a sua estrutura formando ligas metálicas mais resistentes a qual denominamos de aço.

Conforme GARCIA (1995) existe uma grande variedade de ligas de ferro e carbono, o que diferencia cada uma é a concentração de carbono e a temperatura de fusão. Cada liga se caracteriza por possuir uma microestrutura cristalina diferente o que proporciona propriedades particulares a cada uma (STAMBOLOV; 1985). Geralmente denominamos de aço, o ferro cuja formação estrutural tenha sido acrescentada uma porcentagem de carbono inferior a 2% (GARCIA, 1995, p.7; FIGUEIREDO, 2012 p.154).

O ferro produzido diretamente a partir do mineral e do carbono contém uma grande quantidade de compostos de carbono, silício (na forma de silicatos), fósforo, enxofre e manganês, que juntos formam a chamada escória, e dão ao ferro uma baixa resistência a tensões e deformações tornando-o um material inutilizável. Assim, é necessário um novo reaquecimento a uma temperatura de aproximadamente 700°C, e trabalhar mecanicamente sobre o material para eliminar as impurezas. Esse método de depuração do ferro é denominado de forja (GARCIA, 1995, p.7; FIGUEIREDO, 2012 p.154).

1.1.4 – Ferro arqueológico das Missões

A região dos antigos povoados missioneiros no Rio Grande do Sul vem sendo objeto de estudos arqueológicos há alguns anos. Nesse tempo foram realizadas diversas incursões arqueológicas que produziram uma coleção considerável de

³ Propriedade que permite a conformação de uma liga metálica por deformação. Um material maleável é facilmente dobrado, laminado, forjado e conformado.

artefatos metálicos. Segundo Carle (1993), a presença ou a ausência destes vestígios históricos da região missioneira, até o presente momento, foi pouco estudada (CARLE, 1993, p.75).

Segundo Carle (1993), podemos saber um pouco sobre o desenvolvimento dessas reduções através de uma farta documentação produzidas pelos jesuítas da época, estas, explicam em detalhes, quais os procedimentos para suas fundações. Ainda conforme Carle, faz parte dessa importante documentação, o relato bastante esclarecedor do fundador da redução de São João Batista, o Padre Antonio Sepp. Padre Sepp, profundo conhecedor dos processos de mineração, extraiu minério de ferro na região das missões e implementou o que seria uma das primeiras metalúrgicas da América do Sul, em São João Batista, entre os anos de 1698 e 1699 (LÜBECK, 2015, p. 7-9).

Da pedra chamada pelos indígenas de itacuru ou pedra cupim, extraía-se o minério de ferro. Para processar a fundição do metal, foram criados fornos o que possibilitou a produção de diversas formas de materiais metálicos, que atendia não só às necessidades da redução de São João Batista, mas também às outras reduções. Entre os diversos materiais produzidos havia os sinos, ferramentas, ferragens, e diversos utensílios e armas (LÜBECK, 2015, p. 7-9).

Conforme sustenta Claudio Baptista Carle: “A tecnologia utilizada pelo Padre Sepp possibilitou a produção de uma diversidade muito grande de artefatos com excelente acabamento, superando os seus predecessores na metalurgia missioneira” (CARLE, 1993, p.131).

Uma grande quantidade desses materiais produzidos nas missões jesuíticas foi resgatada durante as diversas pesquisas arqueológicas realizadas nos sítios missioneiros. As escavações realizadas nas reduções de São João Batista, São Miguel Arcanjo, São Lourenço Mártir e São Nicolau, produziram uma grande quantidade de artefatos, que se encontram atualmente sob a guarda do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, (IPHAN).

Estes importantes artefatos, compõem um riquíssimo acervo histórico do RGS, que conta com mais de um milhar de peças de ferro, bronze e chumbo. Estes artefatos fazem parte das ferragens das aberturas das edificações da época,

elementos de vestuário, utensílios de cozinha, elementos de cavalaria, projéteis e artefatos religiosos.

CAPITULO 2 – MECANISMOS DE CORROSÃO E CAUSAS DE DEGRADAÇÃO DO FERRO ARQUEOLÓGICO

A degradação do ferro arqueológico ocorre principalmente pela corrosão. A corrosão do metal (Fe) é um processo eletroquímico no qual uma ou mais reações ocorrem na superfície de um metal, resultando na mudança de parte desse elemento do estado metálico para o não metálico, como por exemplo, um óxido (LAGO, 2005).

Segundo SELWYN (2004) as principais causas da corrosão dos artefatos metálicos estão ligadas às condições ambientais, tais como o oxigênio do ar, a água ou a umidade. O mecanismo que desencadeia a corrosão é acelerado pelo calor e pela presença de poluentes atmosféricos tais como dióxido de enxofre, o dióxido de carbono e também, na presença de sais, sendo os mais agressivos os sais de cloreto. Quando o metal é exposto a essas condições, ele tende a se transformar em óxidos, ou seja, tende a retornar ao seu estado original (SELWYN, 2004, p.19).

Para que se inicie um processo de corrosão metálica, é necessário que haja uma ligação iônica entre o ânodo e o cátodo do objeto, o responsável por facilitar essa ligação é o eletrólito, esse fará com que os íons desloquem-se com grande facilidade sobre o metal. A água é responsável pela maior parte dos processos de corrosão eletroquímica, em vista disso, uma umidade relativa do ar atmosférico acima de 65% é suficiente para dar início a uma reação, mesmo em artefatos metálicos livres de impurezas atmosféricas. Portanto, o metal desenvolverá processo corrosivo quando sua superfície estiver exposta ao ar e à água, num processo eletroquímico em que há o envolvimento de elétrons entre as reações simultâneas de oxidação e redução. (SELWYN 2004).

Uma vez que os processos de corrosão se manifestam necessariamente em presença da umidade, uma forma de inibir esse processo danoso aconteça é manter os objetos secos, evitando a formação de camadas de água mesmo que insignificantes, sobre a superfície do metal.

Quando um artefato produzido com um único metal sofre corrosão em solução aquosa, o processo é chamado de eletroquímico. Nesse processo a água serve como eletrólito e de meio condutor para os íons. A presença de heterogeneidade no metal facilita a formação de áreas anódicas e catódicas em diferentes partes da superfície do metal. Nessas condições o metal se deteriora

produzindo uma camada superficial de degradação que muda constantemente. Depois de muito tempo a corrosão pode se tornar uniforme sobre toda a superfície metálica (SELWYN, 2004, p.21).

A superfície de um metal nunca é uniforme, microscopicamente pode se perceber as alterações sobre a superfície do objeto. Essas alterações são decorrentes da presença de impurezas no metal durante o processo de produção, podem-se observar essas alterações, especialmente nos artefatos antigos. As imperfeições microscópicas, também podem estar presentes em ligas com duas ou mais fases, como por exemplo, quando uma das fases for mais anódica que as outras, ou elas estejam em áreas que foram mais susceptíveis a distorções e fadigas quando o metal foi trabalhado. (SELWYN, 2004, p.21).

2.1 - Reações metálicas

Um metal ao ser exposto a um ambiente agressivo à corrosão poderá ou não sofrer um processo corrosivo, isso dependerá das condições e das características que cada metal apresentar. Dessa forma, o metal poderá apresentar-se imune, ativo ou passivo a uma reação, quando estiver exposto a este ambiente agressivo (SELWYN, 2004).

Já aqueles metais, considerados não nobres, estarão num processo de corrosão ativa, quando suas moléculas reagirem ao meio ambiente, resultando dessa reação, a formação de produtos de corrosão solúveis o bastante para soltar-se da superfície do metal. Assim que esses produtos deixam a sua superfície, o metal continuará reagindo com o ambiente e formando novas camadas de oxidação e, assim, continuamente, sucedendo-se na perda substancial do material (SELWYN, 2004).

Quando o metal estiver no estado passivo, é porque já reagiu ao meio ambiente, resultando, assim, na formação de produtos de corrosão parcialmente insolúveis, com isso, é formada uma película aderente sobre sua superfície, essa película, reduz a vulnerabilidade do metal à corrosão. Esse comportamento dependerá da aderência e da insolubilidade da película formada pelos produtos de corrosão sobre a superfície deste metal (SELWYN, 2004).

2.2 - Formas de corrosão

2.2.1 - Corrosão uniforme

A corrosão uniforme ocorre pela formação de uma película muito fina de produtos de corrosão sobre a superfície metálica, sem, no entanto provocar ataques localizados consideráveis ao metal. Um exemplo bastante comum desse tipo de corrosão são os filmes escurecidos que se formam sobre objetos de ligas de prata e a camada de ferrugem formada sobre o ferro ou ligas de ferro ao ar livre (OLIVEIRA, 2006; SELWIN 2004).

2.2.2 - Corrosão galvânica

A corrosão galvânica resulta da interação entre dois metais que possuam potenciais diferentes configurando dessa forma, uma ação eletroquímica entre os dois, esses contatos poderão se dar esse por via direta ou por via eletrolítica, de forma a provocar um fluxo de elétrons entre o par formado. A corrosão galvânica pode ser evitada pelo isolamento entre os dois metais através de um material isolante como o Teflon (OLIVEIRA 2006; SELWIN 2004).

2.2.3 - Corrosão alveolar ou *pitting*

A corrosão alveolar é uma forma de corrosão bastante destrutiva porque não se vê e se inicia normalmente na presença de cloretos, podendo resultar em perfurações que transpassam o metal. Pode ocorrer por uma falha na película de proteção causada por imperfeições mecânicas, como inclusões ou quebra local das ligações químicas. Essa quebra provoca a formação de cavidades sobre a superfície do metal reduzindo o oxigênio nessas áreas, causando a entrada diferenciada de oxigênio, tornando a região interna da cavidade anódica onde ocorre a oxidação e a região externa a catódica e onde ocorre a redução. A dissolução local cria um ambiente químico muito agressivo, porque ocorre um aumento da acidez nessas cavidades, bem como da concentração de íons dissolvidos do metal (OLIVEIRA, 2006; SELWYN 2004).

2.2.4 - Corrosão cavernosa

A corrosão cavernosa acontece nas áreas onde há depósitos externos na superfície do metal, nas junções metal-metal, mais precisamente ocorre em áreas que facilitam a passagem de oxigênio. Dessa forma, as áreas internas da cavidade já formada, com baixa concentração de oxigênio são anódicas, áreas onde ocorrem reações de oxidação, e as áreas externas à cavidade são catódicas, ou seja, áreas onde ocorre a reação de redução. O interior da cavidade é corroído da mesma forma que a corrosão alveolar. (SELWYN, 2004).

2.2.5 - Corrosão filiforme

A corrosão filiforme é um tipo específico de corrosão cavernosa e se desenvolve em alguns metais, como por exemplo, o ferro e o alumínio quando estão cobertos por uma camada de proteção orgânica. A corrosão se forma onde a película de proteção esta rompida e se propaga na forma de linhas por baixo dessa proteção natural. O agente responsável pela corrosão filiforme ainda não é bem entendido, todavia provavelmente envolve a relação entre a concentração de oxigênio e a umidade presentes. (SELWYN, 2004).

2.2.6 - Corrosão intragranular

A corrosão intragranular é formada preferencialmente no contorno dos grãos de uma liga metálica e pode ocasionar a desintegração dessa liga. Isso acontece quando as áreas de ligação entre esses grãos são consideravelmente mais sensíveis que eles. Diversas ligas de aço inoxidável e ligas de zinco fundido que contenham alumínio são sensíveis à corrosão intragranular. Esse tipo de corrosão é considerado um dos piores ataques, pois só se percebe quando a área afetada já esta se desintegrando. (SELWYN, 2004).

2.2.7 - Corrosão seletiva

É o tipo de corrosão que ocorre quando uma liga metálica tem um dos seus elementos preferencialmente removidos, em geral, o menos nobre. No caso das ligas de cobre-zinco, o componente zinco é removido num processo chamado dezincificação (OLIVEIRA, 2006; SELWYN 2004).

2.3 - Métodos tratamento de artefatos metálicos

Os métodos interventivos empregados na conservação de artefatos metálicos podem ser divididos em tratamentos físicos, químicos e eletroquímicos.

Plenderleith (1956) coloca a conservação de artefatos de ferro ou de aço como sendo um dos maiores desafios para o conservador devido a variedade e à complexidade dos produtos de corrosão que esses materiais apresentam. No caso do ferro, o processo de corrosão é rápido e a deformação dos objetos pode ser grave. Dessa forma quando o artefato de ferro é encaminhado a um laboratório para tratamento, é necessária uma análise minuciosa antes que se inicie qualquer tratamento interventivo evitando assim, danificá-lo ainda mais.

Não raro, o objeto apresentar um acúmulo de corrosão tão grande que se torna difícil determinar o limite entre o produto de corrosão e o metal. Para certificar-se das condições internas do objeto é necessário realizar exames de radiografia, tendo em vista que os óxidos de ferro são parcialmente mais transparentes que o metal sólido quando observados através de exames radiográficos, este é o melhor meio para ver a distribuição e a extensão da oxidação. (PLENDERLEITH, 1956, p.274).

2.3.1 - Métodos manuais

O método físico, considerado mais seguro e mais fácil de controlar, envolve a utilização de uma variada instrumentação que vai desde bisturis, escovas, pincéis, sonda exploratória, até sistema de ultrassom. O uso do bisturi deve ser realizado com máximo cuidado para não deixar nenhuma marca na superfície dos artefatos, e tem como objetivo remover a camada de sedimentos e os produtos de corrosão do objeto. (MEYER-ROUDET, 1999).

2.3.2 - Métodos químicos

Nesse método de limpeza são utilizados reagentes químicos que requerem rigoroso controle dos processos de reação os quais poderão vir a causar danos à superfície original do objeto tratado. O ideal é que os procedimentos aplicados sejam mais simples possíveis e com o mínimo de intervenção no artefato.

Todavia, algumas situações podem exigir do conservador o emprego de produtos químicos, como por exemplo, para a estabilização de artefatos metálicos ferrosos resgatados de sítios arqueológicos marinhos, onde se utilizam soluções em pH alcalino (8-12), contendo hidróxido de sódio (1-2% m/v NaOH), dicromato de potássio (0,01-0,1% m/v $K_2Cr_2O_7$) ou carbonato de potássio (K_2CO_3); ou nos artefatos arqueológicos de ferro, onde para a remoção de incrustações, torna-se imprescindível a lavagem com soluções de ácido oxálico ($C_2H_2O_4 < 10\%$ m/v) (ACAN, 2005). É indispensável utilizar soluções químicas que não ofereçam risco tanto ao profissional como para o meio ambiente, observando sempre as regras de segurança para que não comprometa sua saúde. Não se devem utilizar técnicas ou manusear produtos químicos em laboratórios que não estejam devidamente equipados ou que não conte com profissionais capacitados. (ACAN, ANA, 2005, pag. 29-50).

Segundo Hamilton (1999), existe um grande número de tratamentos químicos empregados na remoção de produtos de corrosão dos artefatos de ferro. Todavia esse tratamento só será eficiente desde que os artefatos a serem limpos estejam livres de cloretos. Dos tratamentos químicos empregados, os mais utilizados estão: ácido cítrico, ácido fosfórico, EDTA (etilenodiamina dissódico).

Plenderleith (1956, p. 278), faz citação de uma solução de ácido oxálico para a remoção de ferrugem, porém faz uma recomendação para combinar o tratamento com o uso de um complexante, no caso o EDTA. Também é empregado frequentemente na limpeza do ferro, o ácido fosfórico, bem como soluções de tanino.

A grande maioria dos produtos para a conversão da ferrugem tem na sua formulação o ácido fosfórico ou seus derivados, que agem formando um filme estável de fosfato férrico na superfície do metal tornando-o mais resistente a corrosão. Quanto aos procedimentos realizados utilizando soluções de tanino em objetos expostos às intempéries, o filme formado com as soluções de tanino é mais resistente à corrosão do que o formado no tratamento com ácido fosfórico (HAMILTON, 1999).

A solução de tanino reage com o ferro ou o óxido de ferro formando o tanato ferroso que em contato com o oxigênio do ar, oxida, formando um compacto e forte composto de tanato férrico. A formação desse filme de tanato férrico impede por

algum tempo que as camadas sensíveis do ferro reajam com o vapor de água do ambiente, que leva à sua corrosão (ICC, 1997).

2.3.3 - Método Eletroquímico

Dentre os métodos eletroquímicos mais utilizados para a estabilização dos artefatos metálicos, estão o tratamento galvânico e a eletrólise. Os dois tipos estão baseados no princípio da corrosão eletroquímica, fazendo com o íon cloreto atue como ânodo e migre para fora do artefato (GARCIA, 1995).

A corrosão do metal é um processo eletroquímico no qual elétrons são transferidos de um metal para uma solução, durante reações simultâneas chamadas reações de oxi-redução ou reação redox. Em razão dessas características é que os processos de limpeza eletroquímica e por redução eletrolítica são as técnicas mais utilizadas pelo conservador/restaurador para estancar, estabilizar e mesmo reverter o processo de oxidação do artefato metálico (GRANATO, 2015).

Na conservação pelo método eletroquímico convencionam-se distinguir-se limpeza eletroquímica da limpeza eletrolítica. A limpeza eletroquímica é baseada na interação entre dois metais, que ocupam posições diferenciadas nas séries elétricas ou galvânicas dos metais, sem a necessidade de aplicar-lhes uma força elétrica exterior, este processo de limpeza também pode ser conhecido por limpeza galvânica. A redução eletrolítica comumente chamada de eletrólise é uma reação eletroquímica mantida por uma força elétrica exterior aplicada ou por uma corrente elétrica de baixa densidade.

2.3.3.1 - Limpeza galvânica

A corrosão é um processo natural que ocorre em objetos metálicos que estejam expostos a ambientes com a presença de oxigênio, umidade, com variações de temperatura e pH, com influência ou não de cloretos.

O procedimento para a limpeza pelo método galvânico é indicado para aqueles casos que não é possível a realização de limpeza pelo método eletrolítico, sendo normalmente recomendado para tratamento de artefatos de pequenas dimensões e que ainda preservam um núcleo metálico consistente em sua estrutura (HAMILTON, 1998).

O método de tratamento galvânico consiste na imersão dos artefatos metálicos envoltos em papel alumínio em uma solução de carbonato de cálcio ou bicarbonato de sódio, que tem como função atuar como meio condutor e reduzir a oxidação do ferro. A limpeza do artefato se dará até que o eletrólito se esgote ou que a atividade do alumínio se estabilize, continuando o processo até que todos os produtos da corrosão tenham sido eliminados (FAJARDO, 2008).

Conforme Hamilton (1999), alguns trabalhos referenciam o método de limpeza galvânico como um método eficaz no tratamento de artefatos metálicos, tanto do meio subaquático como de meio terrestre, porém segundo o autor, este método não tem se mostrado uma boa alternativa para a recuperação de artefatos retirados de meio subaquático e excessivamente contaminado por cloretos, também para muitas situações, não são favoráveis nem mesmo para artefatos extraídos de sítios terrestres, onde os cloretos, não são um dos problemas mais preocupantes. Na maioria das situações, a galvanização é indicada somente para alguns artefatos de pequeno porte, os quais necessitam serem limpos e não há equipamento para limpeza eletrolítica disponível. Ainda segundo Hamilton, com exceção para o uso limitado desse tratamento, a limpeza galvânica, é considerada como uma técnica já ultrapassada (HAMILTON, 1999, p.49).

2.3.3.2 - Método eletrolítico

A eletroquímica desempenha um importante papel no contexto da conservação do patrimônio cultural metálico. O emprego da eletroquímica na conservação não é de hoje, ela resulta de longos estudos, os quais tiveram início no século XVIII, quando o primeiro laboratório especializado neste tipo de trabalho foi fundado no ano de 1888. Por ser este assunto, um dos tópicos principal deste trabalho, o mesmo será desenvolvido em separado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3 – REDUÇÃO ELETROLÍTICA

A eletroquímica desempenha um importante papel no contexto da conservação do patrimônio cultural metálico. As técnicas eletroquímicas podem ser empregadas na conservação normalmente com dois propósitos: o primeiro serve para determinar a composição dos materiais que compõem o objeto e, ocasionalmente, identificar seus produtos de alteração, materiais agregados em tratamentos de restauração, ou materiais aderidos a este. A conservação, como segundo método, tem por objetivo preservar o estado original do artefato.

O emprego da eletroquímica na conservação não é de hoje, ela resulta de longos estudos, os quais tiveram início no século XVIII, quando o primeiro laboratório especializado neste tipo de trabalho foi fundado no ano de 1888: O *Chemisches Labor der Königlichen Museen zu Berlin* (Laboratório Químico dos Museus Reais de Berlim, agora chamado de, *Rathgen-Forschungslabor*), cujo trabalho foi publicado no famoso tratado de Rathgen publicado em 1898. A corrosão dos metais, em particular a doença do bronze, focalizou de imediato o interesse de cientistas como: Mond, Cuboni e Berthelot (1894). Berthelot, em 1901, destacou a importância da corrosão assistida por cloreto para doenças de bronze (DOMÉNECH-CARBÓ, 2010, p.349).

Estimulados principalmente por publicações influentes como, as de Rosemberg (1917) e, em particular, Plenderleith (1956), os tratamentos eletrolíticos para a limpeza de metais, rapidamente se espalham no início do século XX. Outros estudiosos no assunto como Stambolow (1965), France-Lanord (1965) e Órgão (1968), ressaltaram em seus trabalhos, a necessidade de se preservar a pátina original em um objeto. Essa nova forma de pensar o tratamento, contribuiu, decisivamente, para uma mudança radical no modo de tratar o metal, isso acabou por levar a um declínio considerável, da limpeza eletrolítica agressiva sobre os metais, desde os anos 70 (DOMÉNECH-CARBÓ, 2010, p. 349).

Atualmente, os tratamentos eletroquímicos buscam atender às orientações da ciência da conservação contida na famosa Carta do Restauro de Roma (Roma 1972), inspirada no trabalho de Brandi, a qual introduz critérios estéticos e éticos muito restritivos sobre a intervenção em objetos históricos e culturais.

Ao longo dos anos, inúmeros métodos curativos, visando conter e até mesmo reverter os processos de corrosão em artefatos metálicos recuperados arqueologicamente são listados e publicados. Para Hamilton (1999), são diversos os tratamentos químicos, eletroquímicos e térmicos desenvolvidos, bem sucedidos na redução dos compostos ferrosos e na estabilização dos artefatos (HAMILTON, 1999, p.82).

Conforme Hamilton (1999), o princípio de funcionamento da eletrólise ou redução eletrolítica, basicamente se define em fazer passar uma corrente elétrica contínua controlada entre um artefato metálico e um ânodo de sacrifício em um meio condutor, o eletrólito. O artefato, a ser tratado, deverá ser fixado firmemente ao terminal negativo da fonte para servir como cátodo do sistema, enquanto o metal de sacrifício, ânodo, estará ligado ao polo positivo da fonte, reduzindo os produtos de corrosão. Embora eletrólise não possa fornecer a energia necessária para transformar os produtos de corrosão de volta ao ferro original, ele o reduz à magnetita, a forma mais estável de ferro mineralizado (HAMILTON, 1999, p.83).

Uma das principais vantagens da limpeza pelo processo de redução eletrolítica está no controle da tensão aplicada ao sistema, através de uma fonte externa. Esse controle permite ao conservador selecionar antecipadamente a intensidade da corrente elétrica necessária para a consolidação ou para a redução dos metais mineralizados. Conforme Hamilton, ao induzirmos uma corrente de baixa amperagem no sistema, esta, proporcionará à consolidação ou redução de alguns metais mineralizados, facilitando dessa forma, a eliminação dos compostos de cloretos incorporados à estrutura do artefato. E, ao induzirmos uma corrente elétrica de alta intensidade, essa fará com que o hidrogênio liberado no processo, remova mecanicamente as crostas de oxidação do metal (HAMILTON, 1998).

Porém, ao utilizarmos uma corrente de alta amperagem num tratamento eletrolítico, podemos estar excluindo importantes informações, que possivelmente estejam contidas discretamente no objeto, provocando assim, a completa perda dessa informação. Da mesma forma, uma corrente elétrica alta poderá fazer gerar um grande volume de hidrogênio no sistema, e levar a maioria dos artefatos tratados a sofrerem rupturas ou rachaduras na sua estrutura metálica (RODGERS 2004). Para evitar esse tipo de perda ou danos irreparáveis à peça, é recomendável que ao empregar o tratamento eletrolítico, se comece sempre com o uso de uma corrente

elétrica de baixa amperagem, isso evita, a elevação do hidrogênio no sistema, e consequentemente evita-se, qualquer tipo de dano ao material tratado.

Ao colocarmos um material ferroso em tratamento, empregando o processo de redução, devemos sempre observar, a existência de um núcleo metálico em sua estrutura, isso possibilita a redução de seus compostos corrosivos ao seu estado metálico. A redução eletrolítica enquanto age eliminando os cloretos dos compostos ferrosos atuam consolidando a camada de corrosão, portanto, esse procedimento, não é indicado para objetos que não apresentem um núcleo metálico consolidado, sob pena de perdermos o artefato durante o tratamento.

O conservador, ao optar por esse procedimento conservativo, deverá estar ciente que existe uma relação direta entre a corrente elétrica, o volume do artefato, a dissolução do eletrólito.

3.1 – Materiais para o sistema eletrolítico

3.1.1 – Fontes de alimentação

Para se conseguir um bom controle sobre a redução eletrolítica, é recomendável usarmos fontes de alimentação com menor variação de tensão, muito embora que, uma pequena variação não chega a ser prejudicial. Ao escolhermos uma fonte de alimentação devemos levar em conta a intensidade da corrente, o volume e o tamanho de cada artefato, além do número de artefatos que serão tratados dentro da cada unidade.

O controlador de correntes e o medidor de amperagem proporcionam ao operador um meio de seleção e regulação da corrente elétrica durante o processo de tratamento. A queda da resistividade do eletrólito à passagem da corrente elétrica ocorre devido ao aumento dos íons de cloreto e outros. O aumento na concentração de íons é o principal motivo para o aumento da corrente, sendo que a redução da resistência do objeto não exerce nenhuma influência significativa.

Embora a limpeza por redução eletrolítica seja um processo considerado econômico e de fácil montagem, seu controle é complexo. Alguns equipamentos como fontes de tensão regulada são caras, o que leva alguns laboratórios de conservação a desenvolver suas próprias fontes. Instruções de como projetar uma fonte de alimentação econômica podemos encontrar em Folei (1967) e Organ (1968,

pp. 291-308). Outra opção para diminuir custos, é lançar mão do emprego de carregadores de baterias, fontes de computadores ou celular, porém estes equipamentos não são projetados para trabalharem continuamente na limpeza eletrolítica, sendo necessário fazer alguns ajustes para torná-los utilizáveis. Alguns desses carregadores trabalham com uma amperagem bastante acima da margem de segurança desejada, porém, qualquer pessoa com conhecimentos básicos sobre circuitos elétricos pode facilmente modificar a maioria dos carregadores em fontes apropriadas para utilização na limpeza de artefatos metálicos.

3.1.2 – Cabos terminais e grampos

Na maioria dos tratamentos eletrolíticos, podem ser usados cabos terminais flexíveis fabricados com fio de cobre conforme especificações da *U.S. National Electric Code Standart 16 AWG, separation 2, isolado até o máximo 300V*. Este é um cabo paralelo, multifilar, bastante flexível e fácil de usar. Para artefatos maiores que exijam intensidades de correntes elevadas, são indicados cabos desde o nº 2 ao nº 0 AWG. O cabo multifilar de cobre é o mais recomendado porque possui maior capacidade, é mais flexível e fácil de manipular. Antes de se usarmos qualquer cabo, devemos ater-se a sua capacidade funcional de amperagem, este não deve aquecer durante o procedimento da eletrólise. Se isto ocorrer é porque sua espessura é muito fina para suportar a corrente.

Para a conexão dos terminais ao artefato e ao ânodo da fonte externa, recomendam-se a utilização de grampos (clips), tipo “jacaré” ou de bateria, que facilitam a instalação ou a remoção dos artefatos. O tamanho do clips varia de acordo com a intensidade da corrente, o tamanho do artefato e pela localização das ligações. Os clips de aço, normalmente são revestidos com cádmio ou com zinco, estes devem ser removidos com um banho rápido numa solução de ácido hidrocloreídrico, antes de seu uso. Não se deve deixar o “clips de aço”, muito tempo imerso na solução de ácido hipocloreídrico, isso enfraquece a mola que parte-se quando forçada.

A importância para a remoção do revestimento de cádmio ou zinco dos grampos do ânodo é evitar que o artefato em tratamento seja galvanizado com esses metais. Pelo mesmo motivo, não são indicados clips de cobre, pois esses

quando ligados ao ânodo podem eventualmente serem dissolvidos anodicamente quando imersos no eletrólito e também galvanizar o cátodo.

3.1.3 – Material do ânodo

Para a limpeza eletroquímica do ferro, uma boa opção para ser utilizado como ânodo de sacrifício, é uma tela de aço macio expandido, espessura 16 com aberturas de meia polegada, este é um material barato e eficiente para compor o ânodo. Esta tela corta-se facilmente, é moderadamente flexível e facilita a moldagem ao redor do artefato, não encobre o material, permite a movimentação do eletrólito e evita a retenção de gases.

As chapas de aço macio também constituem materiais baratos e úteis para o ânodo, porém sua rigidez os torna trabalhosos de envolver o objeto. Podem ser empregados recipientes construídos em aço macio, ou até mesmo galões, para servirem ao mesmo tempo como recipiente para o eletrólito e como material do ânodo. Todavia, quando se tenciona obter um ânodo adaptado à forma do objeto, a tela de aço é a melhor opção.

Ao mantermos um pH⁴ alcalino apropriado de no mínimo 8,5, sob a superfície de um ânodo constituído de aço macio, ele estará menos susceptível de corroer pela ação dos cloretos e resistirá por mais tempo, ao ataque desses sais, que o próprio aço inoxidável, para conservar esse grau de alcalinidade, poderá ser necessário fazermos circular o eletrólito durante o processo.

O alto custo do aço inoxidável normalmente suprime seu uso como material para compor o ânodo de grandes objetos e também é um material pouco prático para cortar e configurar para limpeza de artefatos. A forma mais prática de usar ânodos em aço inoxidável é fazer algumas montagens alternativas que possibilitem o tratamento de um grande número de objetos de uma só vez.

Independente do material que compõem o ânodo se torna, mais simples e econômico substituir o eletrólito antes que ocorra acúmulo de cloretos de tal forma a alterar o pH e o potencial elétrico do ânodo, anulando a passividade do ânodo e

⁴ pH é uma escala de valores e serve para determinar o grau de acidez ou de basicidade de uma dada substância. Varia entre 0 e 14, sendo o valor médio, o sete, correspondente a soluções neutras. Para valores superiores a 7 as soluções são consideradas básicas, e para valores inferiores a 7, serão ácidas. Extraído de: <<http://www.blog.mcscientifica.com.br/a-escala-de-ph/>>. Acesso em 10 mai 2018.

causando sua dissolução. Quando isto ocorrer, o material do ânodo tem que ser trocado.

3.1.4 – Recipientes

Na montagem de um sistema eletrolítico pode ser empregada uma grande variedade de materiais. Normalmente são usados recipientes plásticos não condutores de eletricidade e resistentes a ação química dos cáusticos e ácidos, como o polipropileno (PP), o polietileno (PE). Recipientes de vidro também constituem um bom material para montagens eletrolíticas, bem como os recipientes de madeira, ou infraestruturas revestidas com isolamento de PVC.

Muito embora os recipientes não condutores sejam empregados na limpeza eletrolítica, os recipientes de aço macio também são frequentemente usados. O recipiente metálico, além da função de reservatório para o eletrólito também pode servir parcial ou totalmente, à função de ânodo. São funcionalmente mais vantajosos que os recipientes de plásticos, porque em seu interior podem ser executadas todas as etapas de um processo de conservação, isso é vantajoso quando tratamos objetos grandes, uma vez que não há a necessidade de adaptarmos vários recipientes para eletrólise, enxaguamento, secagem e aplicação da camada de proteção (HAMILTON, 1999).

Durante a eletrólise, o conservador deverá garantir que o recipiente metálico, o qual também tem a função de servir como ânodo permaneça passivo, ao contrário, o metal poderá entrar em dissolução anódica e provocar perfurações em sua estrutura. Isto, no entanto, algumas vezes torna-se difícil quando é usada uma eletrólise com uma baixa densidade de corrente em presença de níveis elevados de íons Cl. Porém, esse inconveniente poderá ser controlado se for usado como eletrólito uma solução a 5% de hidróxido de sódio, até que o nível de cloretos desça ou que a densidade da corrente possa ser aumentada, para que o ânodo se mantenha passivo.

Ao utilizar recipientes metálicos como recipiente e ânodo, o conservador deverá estar atento à algumas regras de segurança. Normalmente a maioria das fontes de alimentação empregada num processo de limpeza por redução eletrolítica

fornece entre 6 a 12 volts, ou entre 12 a 24 volts de tensão contínua, e uma corrente elétrica entre 0 a 50A ou 0 a 200A, porém a tensão empregada durante uma limpeza eletrolítica normalmente não é superior a 6 Volts. Com essas baixas voltagens os riscos de um acidente pessoal com a utilização de recipientes metálicos são reduzidos. No entanto, deve-se tomar a precaução de evitar o estabelecimento de curtos-circuitos entre os dois terminais de fontes de alimentação.

3.2 – Tipos de montagem eletroquímica

Segundo HAMILTON (1973, 1976) a forma como os artefatos são colocados para um tratamento eletrolítico depende de alguns fatores como:

- Tamanho e condições dos artefatos;
- A quantidade de artefatos para serem limpos;
- A quantidade de fontes de alimentação disponíveis;
- A capacidade das fontes de alimentação;
- A quantidade, o tamanho e o material construtivo das cubas.

Algumas publicações sugerem modelos de sistemas práticos e simples os quais podem nos ajudar a optar pela melhor configuração. Como exemplo, uma publicação sobre o assunto, extraído do arquivo eletrônico: Conservação do Ferro: Parte II – Variáveis experimentais e etapas finais⁵. Salientando que somente será feito um apanhado pormenorizado do assunto, para uma leitura completa e maiores informações técnicas referentes ao artigo, pode ser obtida no endereço constante da nota de rodapé.

No Primeiro modelo (A) (Figura 1), nos é apresentado um equipamento onde somente um artefato é colocado na cuba. Nessa configuração o ânodo está envolto no artefato formando uma espécie de gaiola, tomando-se o cuidado para que não fique nenhuma parte de sua estrutura em contato com o mesmo. A corrente elétrica é fornecida por uma fonte de tensão DC regulada, ligada ao sistema. Este modelo proposto permite ao conservador regular com precisão o fluxo de corrente sobre o artefato. É um modelo ideal para se tratar artefatos significativos que requeiram atenção especial do conservador.

⁵ Conservação do Ferro: Parte II – Variáveis experimentais e etapas finais. Extraído de: <<http://nautarch.tamu.edu/CRL/conservationmanual/File10b.htm#contentarea>> em 17mar 2018.

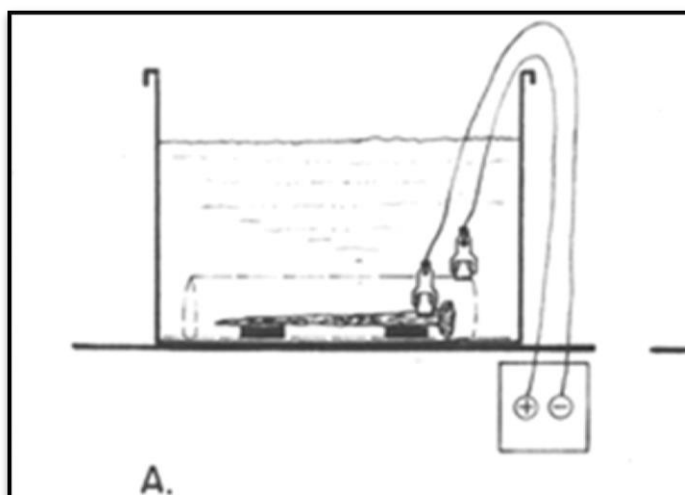


Figura 1 - Sistema eletrolítico com uma fonte.
Fonte: Adaptado de Conservação do ferro parte 2

No exemplo (B) (Figura 2), denominada Tipo 2, vários artefatos são tratados ao mesmo tempo, onde cada artefato está envolto por seu próprio ânodo e cada um ligado a uma fonte de alimentação independente. Esta configuração permite o controle do fluxo de corrente em cada artefato, porém não permite determinar quando e qual artefato está livre de cloretos. Todavia, é possível determinar através do teste de cloretos quando o eletrólito deve ser substituído.

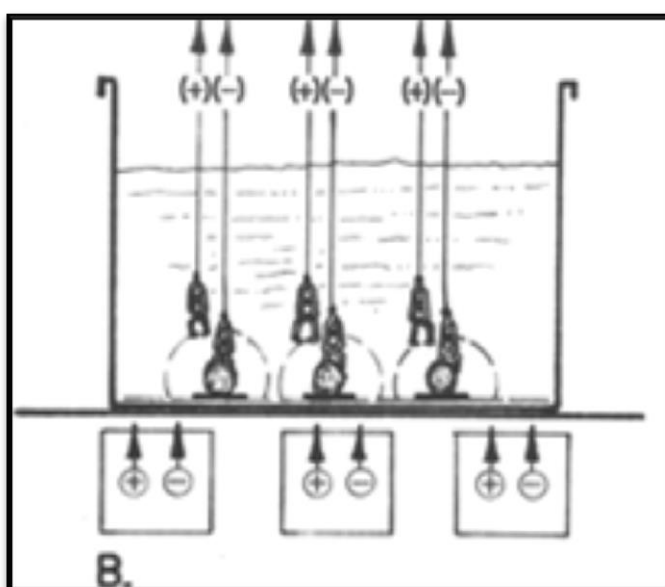


Figura 2 - Sistema eletrolítico Tipo 2 com uma fonte para cada artefato.
Fonte: Adaptado de Conservação do ferro parte 2

A disposição do sistema Tipo 3 C e D , a mais utilizada no tratamento de diversos artefatos com uma só fonte de alimentação . Essa configuração é a menos aceita do ponto de vista do controle, mas por outro lado, apresenta vantagem de tratar um conjunto de objeto ao mesmo tempo numa mesma cuba com uma única fonte de tensão.

Na configuração Tipo 3 (C) (Figura 3), cada artefato está conectado individualmente ao terminal negativo de uma única fonte de alimentação. Os artefatos compartilham o mesmo material anódico, disposto logo acima e abaixo dos artefatos.

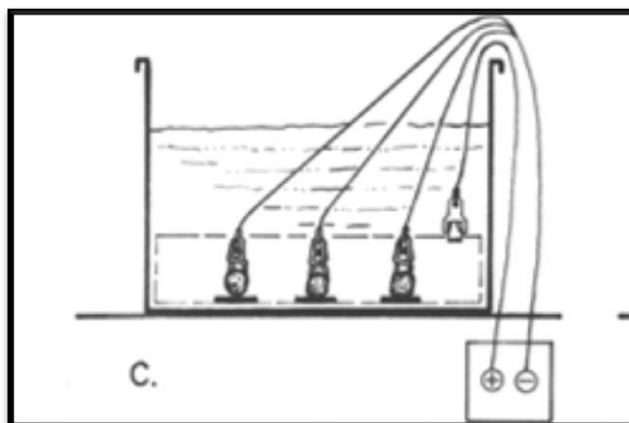


Figura 3 - Sistema eletrolítico Tipo 3 - C, com uma fonte.
Fonte: Adaptado de Conservação do ferro parte 2

A mais popular configuração é a do Tipo 3 (D) (Figura 4), os artefatos estão suspensos por um condutor catódico de latão. Uma desvantagem adicional ao “sistema sanduiche”, é o fator do fluxo de corrente elétrica, devido a proximidade do artefato à conexão do terminal negativo da ligação, quanto mais próximo o artefato estiver do terminal negativo da fonte mais corrente ele receberá.

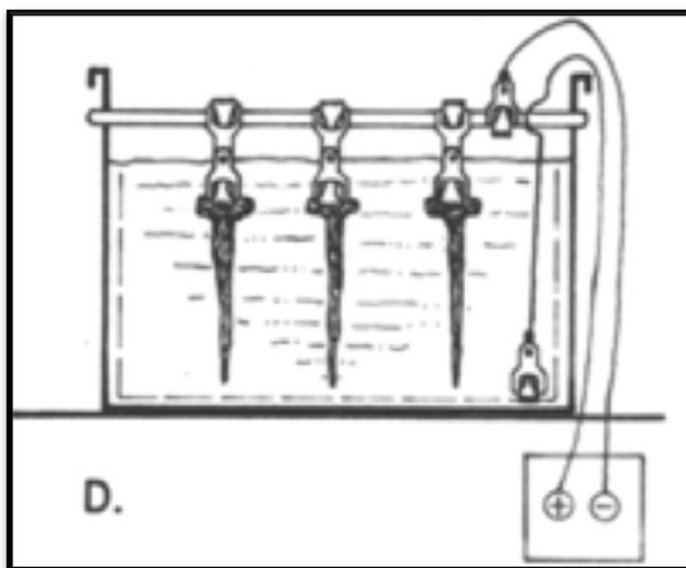


Figura 4 - Sistema eletrolítico Tipo 3 - D, com uma fonte.
Fonte: Adaptado de Conservação do ferro parte 2

Como vantagem, a configuração sanduiche apresenta a possibilidade de processar um conjunto de artefatos com uma única fonte de alimentação em uma cuba. Esta é uma vantagem importante quando as instalações são limitadas e estão aptas a conservar uma quantidade considerável de pequenos artigos.

Importante frisar que em todas as configurações do Tipo 3, o conservador está incapacitado de regular o potencial do eletrodo ou a intensidade da corrente em cada artefato, isso diminui a possibilidade de reduzir os compostos corrosivos adequados de volta ao seu estado metálico. Também é impossível monitorar a perda de cloretos de qualquer artefato.

Outro exemplo de tratamento de vários objetos numa mesma cuba está na (Figura 5), que utiliza uma cuba de aço macio ou de aço inoxidável com diversos compartimentos. O recipiente metálico está conectado ao terminal positivo da fonte, fazendo também a função de ânodo do sistema. Este modelo de sistema além de aproveitar as capacidades limitadas do uso de uma fonte de correntes continua no tratamento de vários artefatos em uma mesma cuba, também permite ao conservador determinar exatamente quando cada artefato esta livre de cloretos, mantendo um tempo mínimo de tratamento para cada artefato, quando este estiver pronto, poderá ser retirado de seu compartimento e preparado novamente sem, no entanto intervir no tratamento eletrolítico das outras células.

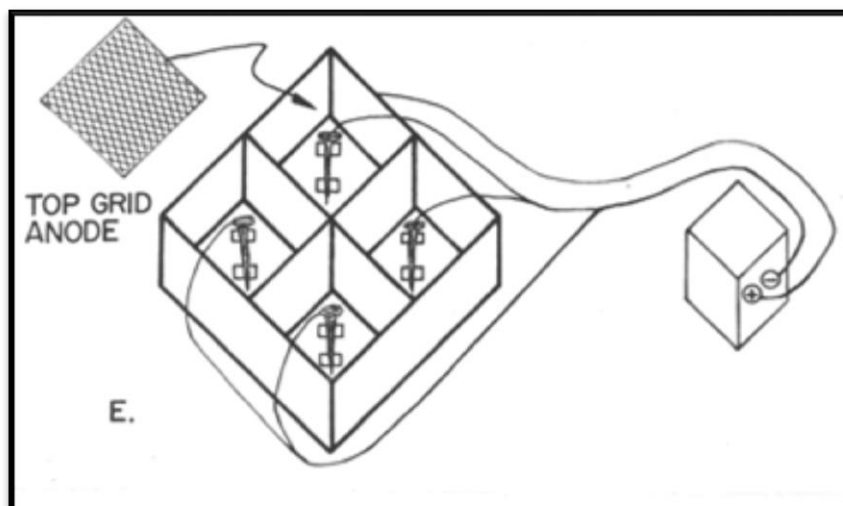


Figura 5 - Sistema eletrolítico D, com uma fonte.
Fonte: Adaptado de Conservação do ferro parte 2

3.3 – Solução eletrolítica

Outro componente fundamental num tratamento por redução eletrolítica é o eletrólito. Normalmente são utilizados na conservação do ferro as soluções alcalinas de carbonato de sódio (Na_2CO_3), e o hidróxido de sódio (NaOH). Cada eletrólito tem suas características próprias, cabendo ao conservador saber escolher o mais adequado para o artefato a ser tratado.

3.3.1 – Hidróxido de sódio

Hamilton (1999) e N.A.North (1987), recomendam como solução eletrolítica a soda cáustica (NaOH) numa concentração de 2 a 4%. Os recipientes que irão receber a solução de hidróxido de sódio podem ser de plásticos não condutores e resistentes aos produtos cáusticos, entre eles o cloreto polivinílico (PVC), polipropileno (PP), e o aço macio, que facilita o trabalho podendo ser executadas todas as fases dos procedimentos de conservação. Este recipiente se aplica em caso de peças grandes como, por exemplo, canhões. Os tamanhos e formatos podem variar conforme o que melhor se adaptar ao objeto. Evitando-se os plásticos reforçados com fibras (HAMILTON, 1999).

Uma característica do hidróxido de sódio é ser mais solúvel que o carbonato de sódio, entretanto, diferentemente do carbonato de sódio, quando misturado tem a capacidade de gerar uma grande calor no momento da mistura. Com seu pH

elevado, o hidróxido de sódio é mais cáustico do que o carbonato de sódio e oferece maior risco ao conservador tanto durante quanto após o preparo da solução, devendo o conservador, ter o máximo cuidado ao preparar as soluções, bem como dispor de equipamento de segurança adequados como, luvas, óculos de proteção, avental, chuveiro de emergência, lava olhos.

3.3.2 – Carbonato de sódio

Se o objetivo do conservador não for reduzir ao máximo os produtos de corrosão, o ideal é lançar mão de eletrólito a base de carbonato de sódio, numa concentração de 5% e um pH de 11,5 será satisfatória para a limpeza da maioria dos artefatos de ferro. Por ser menos cáustico, que o hidróxido de cálcio é mais seguro de manusear.

Todavia, a solução de carbonato de sódio, apresenta problemas como, a precipitação do carbonato insolúvel sobre a superfície dos artefatos durante a limpeza. Outro problema a ser levado em consideração é o pH e a condutividade da solução, estes são inadequados à conservação dos ânodos de aço macio passivos na presença de níveis de cloretos elevado.

A maior desvantagem do carbonato de sódio esta relacionada ao seu pH e com os potenciais de redução catódica. Uma redução mais eficaz dos compostos ferrosos teoricamente se consegue através do uso do hidróxido de sódio entre 2% a 4% e um pH de 12,9, do que com o carbonato de sódio a 5% e pH 11,5. Geralmente, o carbonato de sódio pode ser usado como eletrólito se o objetivo principal não for a redução, todavia quando se tratar de metais oriundos de local marinho, se alcançará melhor resultado através do uso de uma solução de hidróxido de sódio como eletrólito (HAMILTON, 1996).

3.3.3 – Água dos eletrólitos

Para o preparo de soluções eletrolíticas, geralmente recomenda-se apenas água destilada ou deionizada. Porém, nas situações, em que os objetos a serem limpos estão contaminados por uma grande concentração de cloretos, é mais econômico utilizar soluções com água de torneira, até que a concentração de cloretos no mínimo se aproxime a ao teor da água da torneira local. Uma vez

alcançada essa aproximação, a água da torneira será substituída pela água deionizada (HAMILTON, 1996).

3.4 – Densidades da corrente elétrica

Conforme Hamilton (1976, p.41), algumas densidades de corrente elétrica são consideradas eficientes no tratamento de artefatos em ferro oriundos de ambiente marítimos. Todavia, também podem servir de parâmetros para artefatos terrestres.

- Densidades baixas de corrente compreendidas entre (0,001 a 0,005 A/cm²), facilitam a redução de uma grande quantidade de compostos ferrosos da corrosão.
- Densidades de corrente moderada (0,05 A/cm²), são densidades que se aproximam das condições ideais para a remoção dos cloretos, sem, no entanto, induzir a evolução de hidrogênio.
- Densidades de corrente elevada (0,1 A/cm²), nessa densidade de corrente já se cria as condições ideais para uma rápida e forte formação de hidrogênio, indicada para a limpeza e remoção das incrustações mais densas dos artefatos.

A densidade da corrente usada na redução eletrolítica é expressa pelo número de Amperes por unidade de área da superfície do artefato, que é introduzido na célula eletrolítica por uma fonte de alimentação, por exemplo, 1 A/cm². Diversos autores têm sugerido densidades de corrente variando desde 0,001 ate 1 A/cm², para limpeza eletrolítica (Hamilton, 1999, p. 54).

Frequentemente o formato irregular de muitos artefatos metálicos dificulta ao conservador determinar a área total de sua superfície. Todavia, a área total da superfície do cátodo é calculada apenas quando se forma um ânodo ajustado em volta do cátodo e que envolva completamente o artefato; noutra configuração se calcula somente a área do artefato que está exposta na direção do ânodo. Se o artefato metálico que vai receber tratamento conter um núcleo metálico bem consolidado, ou que sua estrutura contenha apenas compostos de corrosão ferrosos, a densidade da corrente aplicada sobre o artefato não será crítica. Do contrário, um artefato que contenha um núcleo frágil, ao se aplicar uma corrente de densidade elevada que induza uma forte formação de hidrogênio, a camada de corrosão irá soltar-se e alterar significativamente a estrutura do artefato.

Ao fazermos uma limpeza por redução eletrolítica, o aconselhável é sempre começar empregando uma corrente elétrica de baixa densidade, posteriormente avançar para corrente média, o processo de remoção dos cloretos, muitas vezes pode levar meses, dependendo do estado de corrosão que se encontra o artefato e o seu volume.

Estas recomendações são apenas parâmetros, não são medidas rígidas a serem aplicadas, cabe ao conservador levar em consideração as peculiaridades inerentes a cada artefato, e as instalações disponíveis para o tratamento desse objeto. Como por exemplo, no caso de um objeto muito grande, obviamente que as orientações anteriores sobre densidades de corrente podem necessitar de um ajuste da capacidade fornecida pela fonte.

3.5 – Camadas de proteção

É recomendável que além do tratamento de limpeza, todo artefato metálico receba uma camada de proteção, principalmente, os artefatos de ferro expostos às intempéries. Plenderleith (1956, p.279), cita as de proteção, como gorduras, ceras, vernizes e em relação aos artefatos arqueológicos, os materiais mais empregados para a proteção são as ceras e os vernizes. Todavia, alguns autores, indicam como camada de proteção para os artefatos em ferro expostos às intempéries a aplicação de vernizes, vernizes combinados com as ceras e as tintas (MOUREY, 1987, p.1091).

CAPÍTULO 4 – CONSERVAÇÃO DE ARTEFATOS ARQUEOLÓGICOS FERROSOS

A preservação do patrimônio arqueológico metálico de forma científica é um campo ainda inédito no Brasil, devido à especificidade do assunto, por requerer conhecimentos interdisciplinares, tanto da área da arqueologia, museologia, conservação e restauro e até mesmo da metalurgia, o que acaba dificultando a realização desses trabalhos. Nesse contexto, o LÂMINA foi estruturado com o objetivo de produzir conhecimentos sobre as mais diversas metodologias de conservação de acervos arqueológicos metálicos, visando com isso contribuir para sua melhor preservação.

4.1 – O Laboratório Multidisciplinar de Investigação Arqueológica (LÂMINA)

O LÂMINA, desde sua implementação, no mês de novembro de 2011, tem buscado constantemente evoluir capacitando e enriquecendo cada vez mais sua equipe de pesquisadores e colaboradores, composta por um corpo Técnico Docente, profissionais formados na área de Conservação e Restauro, Antropologia, Arqueologia, Museologia, além de discentes estagiários das mais diversas áreas do conhecimento. Tendo à sua frente como Coordenador o Prof. Dr. Jaime Mujica Salles, o LÂMINA, tem preservado a característica de multidisciplinaridade desde a sua criação, vindo a tornar-se, reconhecidamente, um dos pioneiros no Brasil a implantar e manter essa característica multidisciplinar, contribuindo relevantemente na formação de seus discentes.

Integrado ao Instituto de Ciências Humanas (ICH), o LÂMINA, desde a sua criação, tem sido uma importante base aos mais variados projetos de ensino, pesquisa e extensão, tanto para a área de graduação como para a pós-graduação, além de dar suporte a professores pesquisadores das mais variadas áreas do conhecimento, sejam eles pertencentes ao quadro efetivo da UFPEL, como de outras instituições de ensino. Com suas atividades voltadas principalmente à área da arqueologia, favorece uma maior aproximação entre a academia e a sociedade. Cabe também destacar a importância que o conjunto de conhecimentos e técnicas das diferentes áreas como: Conservação e Restauro, Museologia, Antropologia, História, trouxeram, ao LÂMINA, um grande avanço no desenvolvimento de suas pesquisas.

Sua importância no cenário do conhecimento e da pesquisa se vem consolidando através de parcerias com as mais diversas organizações nacionais e internacionais tais como:

- Instituto Histórico e Geográfico de São José do Norte-RS (IHGSJN);
- Laboratório de Arqueologia do Capitalismo (*Liber Studium*), ligado à Universidade Federal do Rio Grande (FURG);
- Laboratório de Arqueologia Pública (LAP), vinculado à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP);
- Centro de Documentacion Histórica del Río de la Plata y Brasil (Uruguai);
- Programa de Arqueología Subacuática (PAS), ligado à Universidad de la República (Uruguai);
- Dessas parcerias, resultaram importantes trocas de experiências proporcionadas pela realização de minicursos, cursos, oficinas, estágios, intercâmbios e treinamentos conjuntos fora do país.

Em dezembro de 2015 foi firmada a mais recente e importante parceria entre a UFPEL/LÂMINA e o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN, onde o LÂMINA recebeu cerca de 900 artefatos arqueológicos metálicos ferrosos, em avançado estado de deterioração, pertencentes ao acervo patrimonial histórico do Museu das Missões Jesuíticas, RS.

Os artefatos metálicos foram todos catalogados por grau de deterioração e selecionados numa ordem prioritária de tratamento, os que apresentam alto grau de corrosão foram colocados como tratamentos prioritários, e assim por diante até chegar aos que estão em melhor estado de conservação.

Contando atualmente com uma importante equipe⁶ (Figura 6) de colaboradores, os quais, atualmente estão imbuídos diretamente na conservação

⁶ Coordenador LÂMINA Prof. Dr. Jaime Mujica Sallés; Conservadores Restauradores Fabio Barreto da Silva, Márcia Regina Ribeiro Dutra, Mirtes Dall Oglio, Susana Santos Dode, Taciane Silveira Souza. Visitantes: Arqueólogo Júlio Meireles, Thiago Machado, Arquiteto Eduardo Han, no momento Superintendente Regional do IPHAN.

desse importante acervo metálico, que guardam uma história de um importante período da história do RGS.

Além do importante trabalho de pesquisa e atividades práticas desenvolvidas no laboratório, na atividade fim da conservação de materiais arqueológicos, a Coordenação também busca promover a consciência para a importância da segurança tanto das coleções sobre sua custódia, bem como da segurança pessoal de todos que trabalham ou transitam pelo laboratório.

Palestras sobre prevenção de incêndios⁷ (Figura 7) e (Figura 8), aulas técnicas de desenho arqueológico (Figura 9) instalação de extintores (Figura 10), placas de sinalização, aquisição de equipamentos de proteção individual, aquisição de chuveiro de emergência (Figura 11) e outras atividades afins, fazem parte dos melhoramentos propostos pela Coordenação.



Figura 6 - Equipe do LÂMINA e Equipe IPHAN RS - Recebimento dos primeiros artefatos
Fonte: Banco de dados do LAMINA

⁷ O autor possui formação técnica e profissional em combate a incêndio e desastres pelo Corpo de Bombeiros da Brigada Militar e atualmente aposentado como 1º Tem da Reserva do Corpo de Bombeiros Militar.



Figura 7 - Palestra sobre combate a princípio de incêndio.
Fonte: Banco de dados do LÂMINA



Figura 8 - Prática com extintores no LÂMINA.
Fonte: Banco de Dados do LÂMINA



Figura 9 - Aula técnica de desenho arqueológico Prof. Pedro
Fonte: Banco de dados do LÂMINA



Figura 10 - Instalação de extintores e placas de sinalização e emergência.
Fonte: Autor



Figura 11 - chuveiro de emergência e lava olhos.
Fonte: Banco de dados do LÂMINA

4.2 – Materiais e técnicas

Para a montagem do protótipo projetado, não houve dificuldades na aquisição dos materiais, grande parte desses, já estava disponível no Laboratório, restando fazer apenas algumas adaptações no sistema existente.

4.2.1 – Lista de materiais

- Recipiente para cuba;
- Fontes de tensão contínua;
- Dois multímetros;
- Material para o ânodo;
- Cabos com garra tipo jacaré;

4.2.2 – Lista insumos

- Água deionizada e/ou destilada;
- Hidróxido sódio;
- Medidor do pH da solução;

4.2.3 – Equipamentos de proteção individual e coletivo

- Óculos de proteção;
- Luvas;
- Lava olhos;
- Chuveiro de emergência;
- Extintores.

4.2.4 – Materiais diversos

- Chaves de fenda;
- Alicates de corte;
- Pistola solda a quente;
- Soldador elétrico;
- Terminais elétricos tipo macho/fêmea com cabos flexíveis;
- Furadeira;
- Materiais diversos como fita isolante, parafusos.

4.3 – Materiais para protótipo

4.3.1 – Cuba eletrolítica

O recipiente utilizado como cuba para as atividades de redução eletrolítica no Laboratório é constituído em PVC (Figura 12), opaco, inerte e comporta um volume de solução maior que o pretendido. Tendo em vista que os artefatos a serem tratados são todos de pequeno porte, o recipiente existente, não serviu ao propósito deste trabalho.

Em decorrência dessas características, optou-se por um recipiente de vidro temperado (Figura 13) medindo em centímetros (34x24x22), com capacidade para suportar um volume aproximado de $0,018\text{m}^3$, de solução eletrolítica, contra um volume $0,041\text{m}^3$ da cuba de PVC, cujas dimensões internas, medidas em

centímetros são (46x31x29) (Figura 14). Com a substituição do recipiente, foi possível uma redução de mais de 50% no volume de solução necessária, com isso, também foi possível diminuir a porcentagem de hidróxido de sódio no preparo da solução. Outro ganho também se deu na formação do ânodo de sacrifício, uma tela macia de aço, que na cuba de PVC, demandaria uma área de 3000cm^2 , contra uma área de 2349cm^2 na cuba de vidro.



Figura 12 - Cuba eletrolítica existente.
Fonte: Autor



Figura 13 - Nova cuba de vidro
Fonte: autor



Figura 14 - Cuba de vidro atual e cuba PVC existente.
Fonte: Autor

4.3.2 – Fonte de alimentação

Fontes de alimentação são equipamentos eletrônicos responsáveis pelo fornecimento de energia aos dispositivos elétricos e a outros equipamentos eletrônicos. Sua principal função é converter correntes alternadas (AC) em correntes contínuas (DC), apropriadas para uso na grande maioria dos aparelhos eletrônicos.

Assim, a energia que chega às tomadas do LÂMINA em 110 V ou 220 V é transformada pelas fontes, como por exemplo, em tensões de 5 V e 12 V.

4.3.2.1 – Fonte existente

A fonte de alimentação (Figura 15) utilizada nos tratamentos por redução eletrolítica no laboratório é uma fonte de computador adaptada para fornecer uma única tensão de 12 volts. Nela estão conectados diretamente os terminais (+) ânodo e o (-) cátodo. Essa configuração, embora útil, não possibilita controlar a tensão e a corrente elétrica fornecida pela fonte. Essa impossibilidade deve-se a falta de um dispositivo de regulagem no equipamento.

O controle da corrente elétrica é um dos parâmetros usualmente empregados pelos conservadores para monitorar o processo eletrolítico. Para isso, é fundamental que o equipamento possua um dispositivo que possibilite, ao conservador, manter a densidade da corrente elétrica sob controle.

A densidade da corrente elétrica é a relação entre a intensidade de corrente elétrica por centímetro quadrado (Amperes/cm²). Valores estes que estão entre 0,001 e 1 Amperes/cm². Estes valores são baseados em estudos referenciados em bibliografias especializadas para o tratamento eletrolítico de materiais metálicos, como em (HAMILTON, 1999).



Figura 15 - Fonte computador existente.
Fonte: Autor

4.3.2.2 – Fonte 1 – Carregador de celular

Num primeiro momento testou-se uma fonte de alimentação para carregar celular (Figura 16), porém sua capacidade de trabalho se mostrou ineficiente para o sistema requerido, outro fator negativo é a falta de um dispositivo de controle da tensão e corrente. Possivelmente, a potência dissipada pelo equipamento, se mostre eficiente apenas no tratamento de um artefato pequeno por vez. No momento, esse não é o objetivo buscado nesse trabalho, sendo esse equipamento substituído. Cabe ressaltar que não interessa ao projeto, uma fonte que forneça alta amperagem, o estabelecido é trabalhar dentro dos parâmetros indicados por Hamilton (1999). Após alguns estudos, ficou decidido, fazer algumas alterações com a fonte de computador existente no laboratório.



Figura 16 - Primeiro teste - fonte celular.
Fonte: Autor

4.3.2.3 – Fonte 2 – Fonte de computador

É importante salientar que para realizar quaisquer alterações num circuito elétrico, é preciso possuir algum conhecimento básico sobre eletricidade e estar sempre atendo às normas de segurança. Nunca trabalhe com o equipamento

energizado. As alterações feitas nessa primeira fonte foram realizadas pelo autor desse estudo, visto o mesmo ter formação técnica em eletrônica, pela Escola Técnica Federal de Pelotas (ETFPPEL), atual Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul).

Um primeiro procedimento na preparação do equipamento, foi a desmontagem da fonte existente (Figura 17), nessa etapa, foram isolados todos os pontos com tensões desnecessárias ou duplicadas, sendo selecionadas apenas quatro terminais com tensões de 3,5,12 Volts, mais um terminal extra de 12 Volts de corrente contínua (VCC). Na extremidade desses terminais foram soldados bornes tipo (fêmea) na cor preta e vermelha para a identificação do polo negativo e positivo respectivamente, os bornes foram fixados em orifícios feitos na tampa metálica da caixa de proteção da fonte. Para controlar a corrente elétrica, foi ligado em série ao cabo positivo da fonte um potenciômetro⁸ com eixo giratório (Figura 18), (conforme podemos observar ao lado do multímetro vermelho). Primeiramente foi colocado um potenciômetro de 5K ohms, porém esse não suportou a corrente elétrica, vindo a queimar. Esse problema foi solucionado substituindo-se o componente queimado por um de potenciômetro de 100K ohms, esse resistiu a todos os testes previstos.

⁸ Potenciômetro é um componente eletrônico que cria uma limitação para o fluxo de corrente elétrica que passa por ele, e essa limitação pode ser ajustada manualmente, podendo ser aumentada ou diminuída. < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3379-art472> > acesso em 28 março 2018.

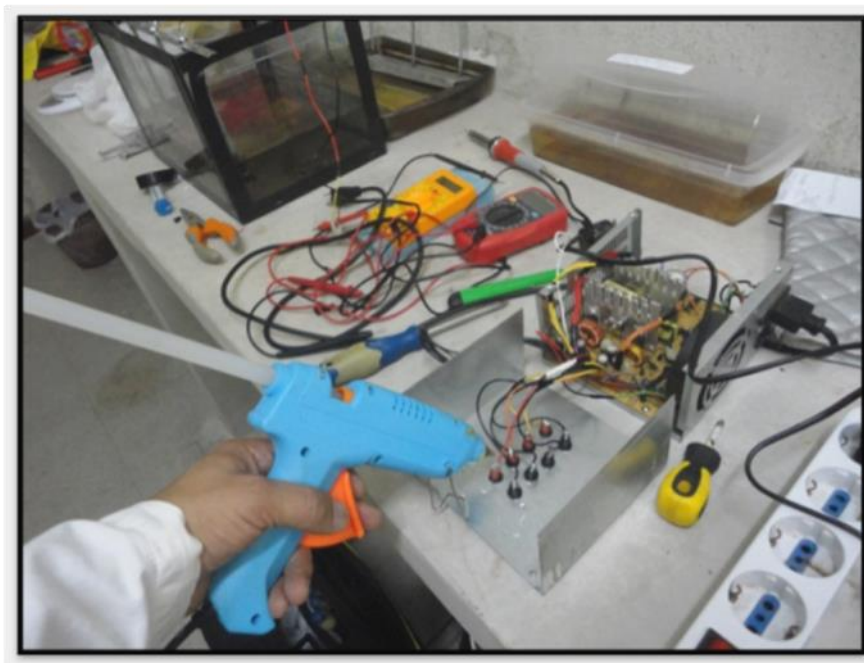


Figura 17 - Desmontagem da fonte existente para adaptação
Fonte: Autor

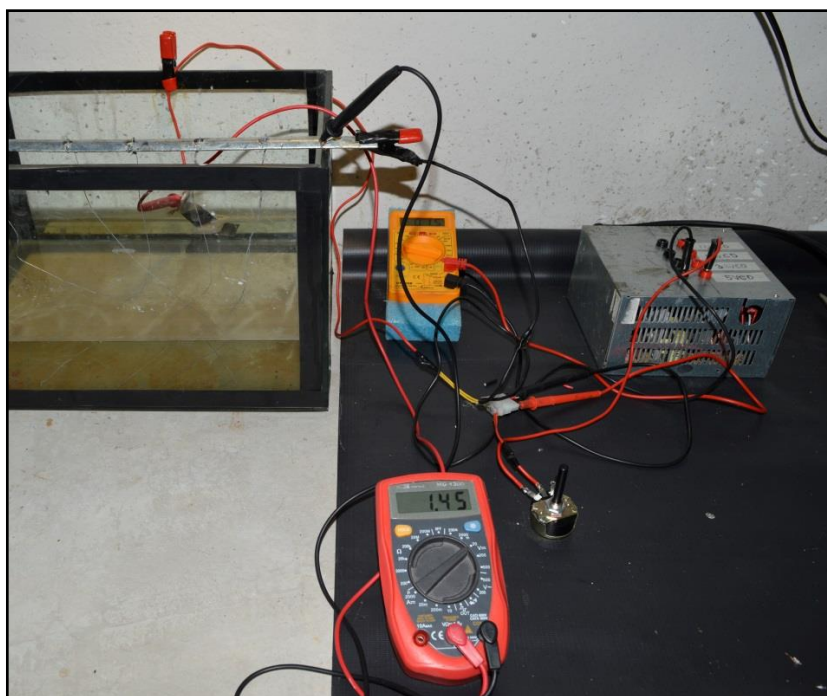


Figura 18 – Fonte de computador 2 montada e em teste funcional
Fonte: Autor

4.3.2.4 – Fonte 3 – Fonte de computador

Uma segunda versão da fonte (Figura 20) foi idealizada pelo formando do Curso Técnico em Eletrônica pelo IFSul, Marcos Mujica Machado. Nessa versão, a fonte conta com duas saídas de tensão contínua de 5 e 12 Volts respectivamente. Para o controle da corrente elétrica, foi fixado junto à caixa de proteção da fonte, um reostato⁹ de 30 ohms. Dois terminais fixados na parte superior permitem fazer uma leitura da corrente aplicada ao circuito, outros dois terminais estão ligados o ânodo e o cátodo do sistema respectivamente.

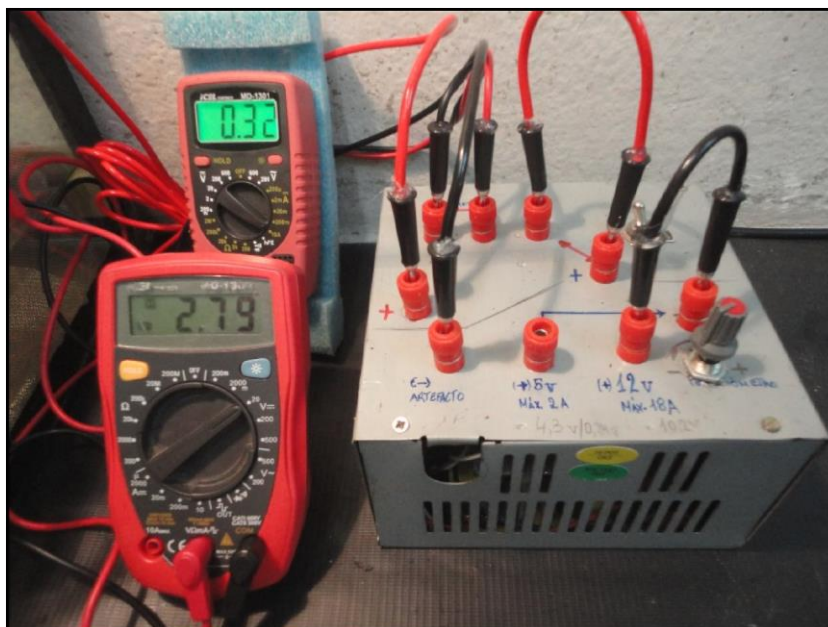


Figura 19 - Segunda versão da fonte adaptada.
Foto: Autor

4.3.3 – Multímetros digitais

Os multímetros ligados ao sistema servem para medir a corrente aplicada ao circuito e a tensão sobre os artefatos que estão em tratamento. Na figura 20 podemos ver o registro da tensão através do multímetro em primeiro plano e a medida da corrente registrada pelo multímetro em segundo plano.

⁹ O reostato (resistência variável) é um dispositivo que possibilita a variação da resistência de um circuito elétrico podendo, dessa forma, aumentar-se ou diminuir-se seu valor em função da necessidade de alteração da intensidade da corrente no circuito.< <http://www.ohmic.com.br/site/produtos-reostatos-saiba-mais>> acesso em 28 março 2018.

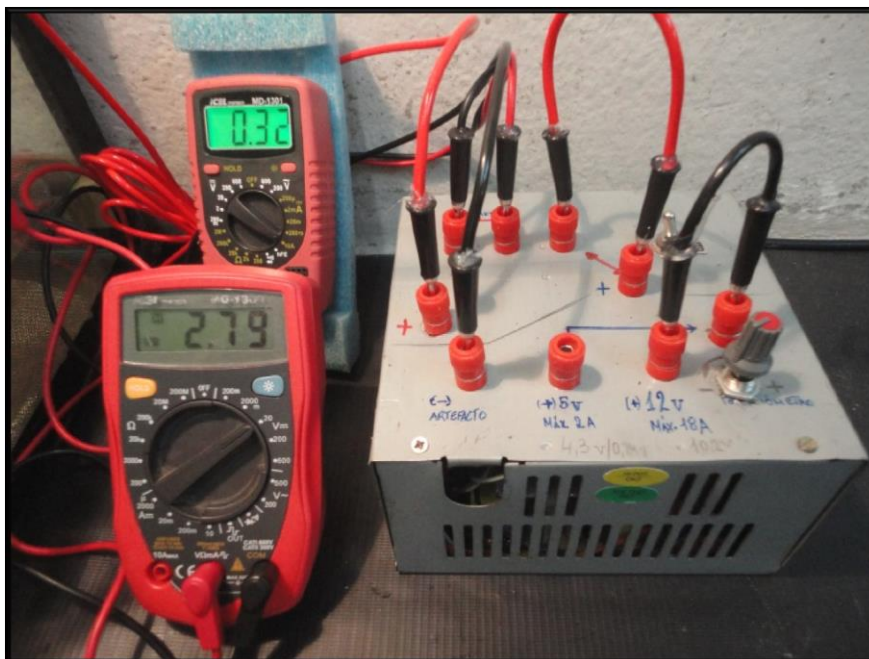


Figura 20 – Multímetros para registro de tensão e corrente elétrica.
Foto: Autor

4.3.4 – Material do ânodo

Como ânodo de sacrifício é usado uma tela de aço macio expandido (Figura 21), um material barato e eficiente para compor o ânodo. Esta tela é facilmente moldável a forma da cuba, é moderadamente flexível e facilita a moldagem tanto ao redor do artefato, como nas laterais e no fundo da cuba, não encobre o material, permite a movimentação do eletrólito e evita à retenção de gases que por ventura venham a se formar.



Figura 21 – Tela de aço usada como material para o ânodo
Foto: Autor

4.3.5 – Cabos com garra tipo boca de “jacaré”

Cabos com garra “boca de jacaré” (Figura 22) para prender firmemente os artefatos dentro do eletrólito sem encostá-los, no material anódico. Através desses cabos os artefatos são conectados ao catodo possibilitando a circulação da corrente elétrica.



Figura 22 - cabos com garra tipo "boca de jacaré"
Fonte: Autor

4.4 – Montagens do sistema

O primeiro material utilizado como ânodo de sacrifício, foi um perfil de alumínio (Figura 23). Este material não apresentou bons resultados ao final do tratamento, não houve uma limpeza homogênea sobre todos os artefatos, possivelmente essa situação tenha ocorrido pela pequena área de cobertura do ânodo.



Figura 23 - Perfil alumínio utilizados como ânodo
Foto: Arquivo LÂMINA

Para um segundo modelo, o material do ânodo foi substituído por uma tela (Figura 24) de aço macio. Esta foi cortada e moldada parcialmente sobre área no fundo da cuba, nessa configuração notou-se uma pequena melhora no tratamento. Após alguns procedimentos este modelo foi substituído.

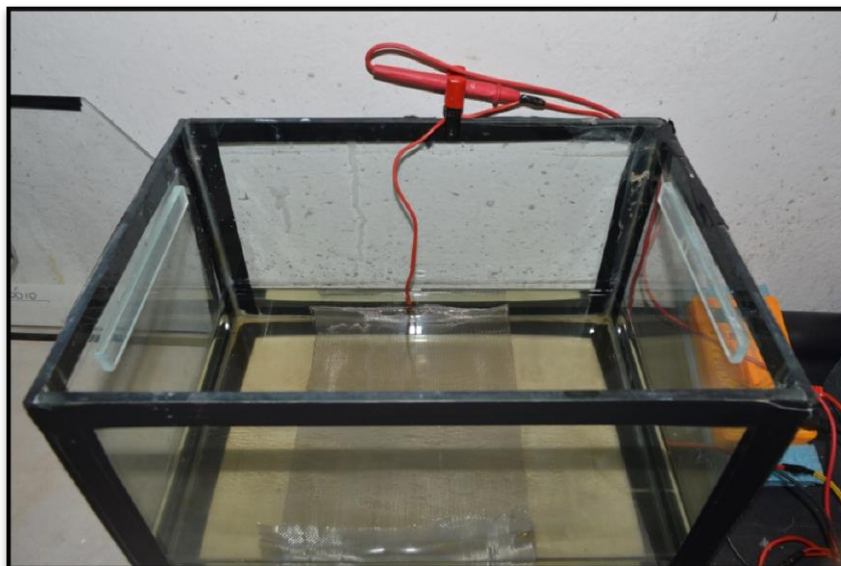


Figura 24 - Tela de aço como ânodo cobrindo parcialmente o fundo da cuba
Fonte: Autor

A forma anódica que se mostrou mais eficiente foi uma tela de aço (Figura 25) macia moldada no fundo e nas laterais da cuba, formando uma espécie de peneira dentro da mesma.

Conforme constatado, essa configuração possibilitou um tratamento homogêneo e eficiente do conjunto de artefatos. A desvantagem apresentada nessa configuração é a impossibilidade de regular o potencial do eletrodo ou a densidade da corrente para cada artefato, e também impossibilidade de monitorar a perda de cloretos de qualquer artefato em separado, se esse for seu objetivo.



Figura 25 - Tela de aço macio formando o ânodo final
Foto: Autor

4.5 – Técnicas de tratamento

4.5.1 – Seleção dos artefatos

Para a conclusão deste trabalho, foram selecionados os seguintes artefatos: Tratamento 1 – Ferradura de ferro, catalogada com número de patrimônio 921 do Lote 95, proveniente do Sítio São Lourenço Martir. Tratamento 2 – Conjunto de cravos de ferro forjado, composto pelos seguintes artefatos: (nº 2526 - Lote 468); (nº 4879, 4880, 4881, 4882, 4883 – Lote 824); (nº 4888, 4889, 4891 – Lote 826) e (nº 4897 – Lote 829), todos originários das escavações do Sítio Arqueológico de São João Batista.

4.5.2 – Tratamento 1 - Ferradura

4.5.2.1 – Ficha Individual

Como primeiro procedimento, abriu-se uma ficha de registro individual (Figura 26) e (Figura 27) para o artefato, onde foi registrado todo o tipo de manifestações patológicas ou marcas particulares observadas durante o registro, bem como, todo e qualquer tipo de intervenção realizada sobre o material.

Sítio SLM Lok: 95 Peças 921

Início do registro - 23/01/2017 CM: Ferro

23/1/17 - Acuidição individualmente

23/1/17 - RF inicial (mm) (mkr): 0796, 0797, 0798; 0799, 0800, 0801, 0802; 0803.

23/1/17 - Dimensão poragem (mkr/fos)

Curvatura externa: 29,9 cm esp. 0,73 cm

" interna: 21,5 cm esp das pontas: 1,30 cm

larg. + 2,0 cm PIF: PD: data:

" - 1,5 cm PIA: 243,41g

23/1/17 Estado de conservação (mkr)

Integridade: A Alterações visíveis: C Estrutura: A

Extensões: C Interpretação: A Tratamento: C

Estado de conservação: C

23/01/2017 - Patologias: 2, 3, 8

- Análise c/ lupa estereoscópica 23/01/2017 (mkr/fos)

Obs: pedimentos; micro raízes; gotículas negras de oxidação líquida.

- Foram tiradas fotografias c/ microscópio USB - 23/1/17 (mkr/fos)

- Limpeza manual: 24/1/17 - bitumi, escova (BDX)

25/1/17 - bitumi; escova; micrometrifica, ponta, lupa (fos)

- Proposta de tratamento

1- EL 2-AT 3- PB72 4- Parafina (tamanho peg)

Obs Ao término de cada tratamento, deverá se realizada Análise c/ lupa (mkr)

Figura 26 - Ficha registro inicial artefato
Fonte: Autor

26/1/17 - RF pós LM (mm) (mkr): 0237, 0239, 0240, 0241, 0242, 0243, 0246.

26/1/17 - Início do tratamento eletrolítico (10h) (RBS)

26/1/17 - Conclusão do tratamento eletrolítico (17h) (RBS)

Vcc: 2,75 Icc: 0,2mA

- Neutralização c/ ácido acético
- Lavagem c/ xcoral e água deionizada
- Secagem c/ papel toalha
- Imersão em álcool.
- Limpeza manual pós eletólise (RBS)

27/1 RF pós EL (mm) (mkr): 0329, 0330, 0331, 0332, 0333, 0334, 0335, 0336.

IC-AT 1ª demão: 27/1/17 - (mkr)

2ª demão: 30/1/17 - (mkr)

3ª demão: 31.1.17 (mkr)

M.02.17 1: PB-72 mkr

06/02/17 - parafina por imersão (mkr)

06/02/17 - RF final (mm) (mkr): 0001, 0002, 0003, 0004, 0005, 0006, 0007, 0008, 0009, 0010, 0011, 0012

Peso final: 225,37g

07/02/2017 - ACONDICIONADO NA CAIXETA III DA MAPOTECA DO LABORATÓRIO
LimpO (TMS). T = 23 ± 1°C ; UR = 30 %

Figura 27 - Continuação ficha registro inicial do artefato
Fonte: Autor

4.5.2.2 – Registro fotográfico inicial

Na sequência, procede-se o registro fotográfico inicial da peça (Figura 28) conforme a mesma foi entregue ao laboratório.



Figura 28 - Registro fotográfico inicial
Foto : Marcia Ribeiro – Conservadora Restauradora

4.5.2.3 – Análise do artefato através da lupa

O uso da lupa esterioscópica auxilia ao conservador realizar uma avaliação criteriosa dos pormenores no artefato, os quais, normalmente fogem à observação visual. A análise através da lupa, possibilita ao conservador, traçar um plano inicial de tratamento. Nessa análise é possível reforçar a identificação das manifestações patológicas constatadas através da análise visual. Numa análise visual e através do emprego de uma lupa esterioscópica (Figura 29) e do microscópio USB, não se constatou nenhum ponto frágil na mesma e seu núcleo metálico apresenta-se íntegro.



Figura 29 - Análise com lupa estereoscópica e microscópio USB

Fonte: Autor

4.5.2.4 – Pesagem e medições

Após análise, o artefato é submetido a pesagem em balança eletrônica (Figura 30), medições através de fitas métricas e paquímetro eletrônico (Figura 31).



Figura 30 - Pesagem inicial do artefato

Fonte: Autor



Figura 31 - Registro das medidas iniciais com paquímetro eletrônico
Fonte: Autor

4.5.2.5 – Desenho técnico

Sobre sua área superficial, foram constatados alguns pontos de corrosão seca, uma leve laminação e acúmulo de sedimentos terrosos nos orifícios, conforme identificação apresentada no registro manual da peça (Figura 32). Na parte frontal apresenta perda de material, possivelmente pelo desgaste provocado durante o uso.

O desenho técnico consegue traçar todos os detalhes que uma máquina fotográfica não consegue captar fielmente, ou seja por ficarem ocultos na fotografia no momento do registro. Algumas faces do objeto podem ficar fora do ângulo de captura da objetiva da maquina fotografica. No desenho técnico abaixo, podemos ver registradas, as manifestações patológicas constatadas na ferradura, durante a análise visual. Conforme podemos observar, na fotografia inicial, alguns esses detalhes passam despercebidos. O desenho técnico do artefato é creditado à graduanda de história e estagiária colaboradora do LÂMINA, Barbara Denise Xavier da Costa.

35). Este procedimento, visa remover da ferradura, todos os produtos resultantes do processo de corrosão, sedimentos terrosos, preparando o artefato para o tratamento eletrolítico (Figura 36).



Figura 33 - Limpeza manual da ferradura com bisturi
Fonte: Autor



Figura 34 - Limpeza manual com uso da sonda exploradora
Fonte: Autor



Figura 35 - Limpeza mecânica com micro retífica
Foto: Márcia Ribeiro – Conservadora



Figura 36 - Artefato pós-limpeza manual/mecânica
Fonte: Autor

4.5.2.7 – Limpeza por redução eletrolítica

O tratamento por redução eletrolítica (Figura 37) pode ser empregado em qualquer tipo de material metálico, desde que observadas as características individuais de cada metal. A eletrólise minimiza os efeitos da corrosão sobre o metal bem como pode reverter esses processos, também age na de eliminação dos cloretos que possam estar presentes nos metais arqueológicos. Todavia para que esse procedimento seja eficiente é necessário que o conservador tenha conhecimentos básicos dos processos de corrosão, pH, termodinâmica e eletroquímica e entender como essas variáveis se relacionam.

A fonte de energia utilizada foi uma fonte de correntes contínua de computador adaptada para o projeto, conforme visto em (4.2), a tensão aplicada no circuito é indicada através dos terminais do equipamento e pode variar de 3 a 12 Volts de corrente contínua, o controle da intensidade da corrente acontece através de um reostato adaptado no equipamento. Para o tratamento dos artefatos, foi adotado pelo laboratório, o emprego de correntes baixas, embora o artefato permaneça um maior tempo em tratamento. Conforme Hamilton (1998), num tratamento de limpeza por redução eletrolítica no qual seja aplicada corrente de baixa amperagem o tempo de tratamento do artefato na eletrólise é maior, enquanto que, num tratamento com correntes de maiores intensidade o tempo de tratamento é reduzido.

A densidade da corrente baixa aplicada no tratamento dos artefatos foi controlada em $0,005 \text{ A/cm}^2$, nesta densidade de corrente ocorre pouca ou nenhuma liberação de hidrogênio a partir da superfície do artefato. Os elétrons deslocam-se a uma velocidade tal que são utilizados para a redução do metal e não para a formação de gás hidrogênio. No entanto, uma vez que toda a redução ocorreu, poderá haver a formação do gás hidrogênio que começará evoluindo a partir da superfície do objeto aumentando a corrente elétrica. Para manter uma densidade de corrente baixa, será necessário diminuir a amperagem através do reostato da fonte de alimentação CC.

Para o preparo da solução eletrolítica empregada neste estudo, foi utilizado o cloreto de sódio, também conhecido por soda cáustica (NaOH), numa porcentagem de 3% por volume de solução (p/v) e pH entre 12,5 a 13. Esta formulação

normalmente é empregada no LÂMINA, em processos eletrolíticos. Hamilton (1999) e N.A.North & Mac Leod (1987), recomendam esta solução entre 2 a 4% como solução eletrolítica. Durante o preparo da solução é necessário que o conservador esteja provido de EPIs, como óculos de proteção, luvas, avental. O laboratório, ainda, deverá contar com equipamento de proteção coletiva como lava olhos e chuveiros de emergência.

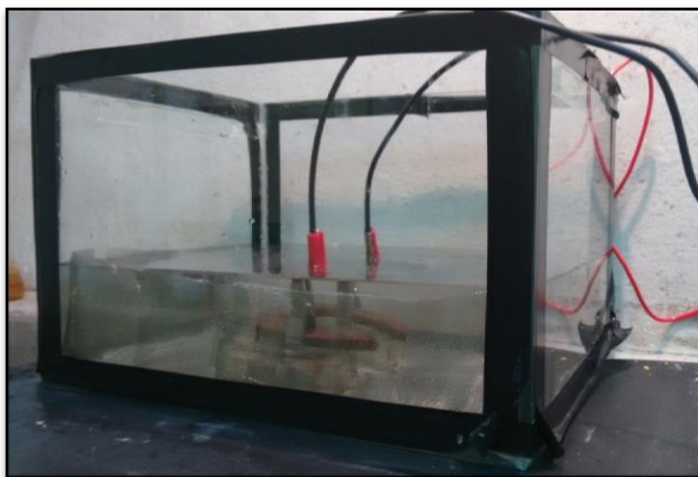


Figura 37 - Tratamento por redução eletrolítica na ferradura.
Fonte: Autor

4.5.2.8 – Tratamento com inibidor de corrosão

Ao término do tratamento eletrolítico, o artefato é lavado em água deionizada ou destilada. Durante o processo de lavagem, o objeto é escovado para retirar todo e qualquer resíduo que tenha restado do processo de tratamento, após a lavagem, o artefato é imerso em álcool etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), esse procedimento se utiliza da volatilização do álcool para acelerar a secagem do objeto, evitando que o artefato ao entrar em contato com o oxigênio do ar, reaja, e inicie um processo de corrosão rapidamente. Normalmente, para esses procedimentos, são empregados solventes solúveis em água, usualmente os mais utilizados são o etanol, o metanol, o isopropanol, e acetona. O isopropanol é o menos tóxico, e dentre eles, tem uma ação mais rápida. Segundo Hamilton (1999), os alcoois ainda tem a vantagem de removerem os cloretos que não foram removidos durante o tratamento.

Após os procedimentos de lavagem e secagem do artefato, é aplicado o inibidor de corrosão, com a finalidade de minimizar a ocorrência de novos processos corrosivos sobre o metal. As diluições de ácido tânico recomendadas e usualmente

empregadas pelos laboratórios de conservação estão entre 2 e 10% (p/v) de solução e um pH de 2 a 2,4. Concentrações mais baixas entre 2 e 3% tem maior poder de penetração, formando sobre o metal uma película de proteção de boa qualidade. (HAMILTON, 1999; RODGERS, 2002).

Para a inibição da corrosão, pós-tratamento eletrolítico na ferradura (Figura 38), foi aplicado o ácido tânico. O método de aplicação foi através da escovação do produto sobre a superfície do metal, utilizando para esse procedimento uma escova de cerdas macias. Este tratamento foi composto pela aplicação de três demãos do inibidor, num intervalo de 48h entre cada aplicação. Conforme Hamilton (1999); Rodgers (2004) e ICC (2015), a quantidade de camadas aplicadas sobre o metal depende dos objetivos a que se pretende atingir, podendo ser tanto a estabilização do processo corrosivo como simplesmente se conseguir dar um melhor acabamento ao objeto.

Ao concluir a aplicação do inibidor de corrosão (Figura 39), o artefato recebeu uma camada de proteção por parafina (Figura 40), cuja finalidade é isolar o mesmo, do contato com o oxigênio e a umidade do ar. Ao finalizar todas as etapas do tratamento, é realizado o registro fotográfico final do artefato e o armazenamento na mapoteca do Laboratório, onde permanecerá monitorado e em temperatura e umidade relativa constante, até que retorne ao IPHAN.

A ultima etapa dos procedimentos lançados na ficha individual do artefato tratado, são inseridos no Banco de Dados Eletrônico do LÂMINA (Figura 41).



Figura 38 - Aplicação de inibidor de corrosão – ácido tânico
Foto: Autor



Figura 39 - Pós-tratamento com ácido tânico
Fonte: Banco dados LÂMINA



Figura 40 – Tratamento final com camada de proteção
Foto: Banco de dados do LÂMINA



Figura 41 - Inserção do registro final no banco de dados eletrônico do LÂMINA
Fonte: Autor

4.5.3 – Tratamento 2 - Conjunto de cravos

O tratamento 2 foi realizado no conjunto (Figura 42) de cravos de ferro forjado, composto de dez peças catalogadas com os números: 2526; 4879, 4880, 4881, 4882, 4883; 4888, 4889, 4891 e 4897, todos originários das escavações do Sítio Arqueológico de São João Batista.

Estes, passaram pelos mesmos procedimentos iniciais e final, pelos quais passou o artefato 921 (ferradura), do tratamento 1, porém, tais procedimentos, não serão pormenorizados aqui, evitando assim, uma série de procedimentos repetitivos e o acúmulo de fotografias desnecessárias.

Tabela 2 - relação dos artefatos.

Artefato	Número Patrimônio	Número do Lote	Origem
Cravo	2526	468	SJB
Cravo	4879	824	SJB
Cravo	4880	824	SJB
Cravo	4881	824	SJB
Cravo	4882	824	SJB
Cravo	4883	824	SJB
Cravo	4888	826	SJB
Cravo	4889	826	SJB
Cravo	4891	826	SJB
Cravo	4897	829	SJB

Fonte: autor



Figura 42 – Preparação dos cravos para tratamento.
Fonte: Márcia Ribeiro – Conservadora

Com este procedimento, foi possível testar a capacidade e a eficiência do protótipo (Figura 43) no tratamento de vários artefatos simultaneamente.



Figura 43- Tratamento redução eletrolítica de 10 cravos metálicos
Foto: Autor

4.5.4 – Quadro de controle tratamento eletrolítico

Nas Tabelas 3 e 4 podemos verificar os dados de controle durante o tratamento. Considerando que os artefatos ocupam uma área total aproximada de 120cm^2 , foi projetada uma densidade de corrente elétrica de trabalho de $0,005\text{mA/cm}^2$, resultando numa corrente total de 0,6A. Este valor está dentro do padrão de tratamento de densidades baixas de corrente ($0,001$ a $0,005\text{ A/cm}^2$), essa densidade de corrente facilita a redução de uma grande quantidade de compostos ferrosos da corrosão. (Hamilton, 1976, p.41).

O tempo empregado para o tratamento dos artefatos na eletrólise levou um total de 19h 44' (dezenove horas e quarenta e quatro minutos), numa solução de hidróxido sódio a 3% e pH de 12 - 13.

Tabela 3 – controle no primeiro dia de tratamento.

Área Total	Artefato	Data	Hora Inicial	Hora Final	VCC	ICC	Tempo Total	OBS
~120 cm^2	2526	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4879	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4880	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4881	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4882	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4883	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4888	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4889	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4891	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	
	4897	26/07/2017	13h50'	17h30'	3,39V	0,6A	3h40	

Fonte: autor

Tabela 4 – controle no segundo dia de tratamento.

Área Total	Artefato	Data	Hora Inicial	Hora Final	VCC	ICC	Tempo Total	OBS
~120 cm ²	2526	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4879	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4880	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4881	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4882	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4883	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4888	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4889	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4891	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	
	4897	27/07/17	14h15'	17h50'	3,39V	0,6A	4h35'	

Fonte: autor

Tabela 5 – controle no terceiro dia de tratamento.

Área Total	Artefato	Data	Hora Inicial	Hora Final	VCC	ICC	Tempo Total	OBS
~120 cm ²	2526	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4879	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4880	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4881	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4882	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4883	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4888	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4889	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4891	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	
	4897	31/07/17	11h50'	18h00'	3,29V	0,6A	6h10'	

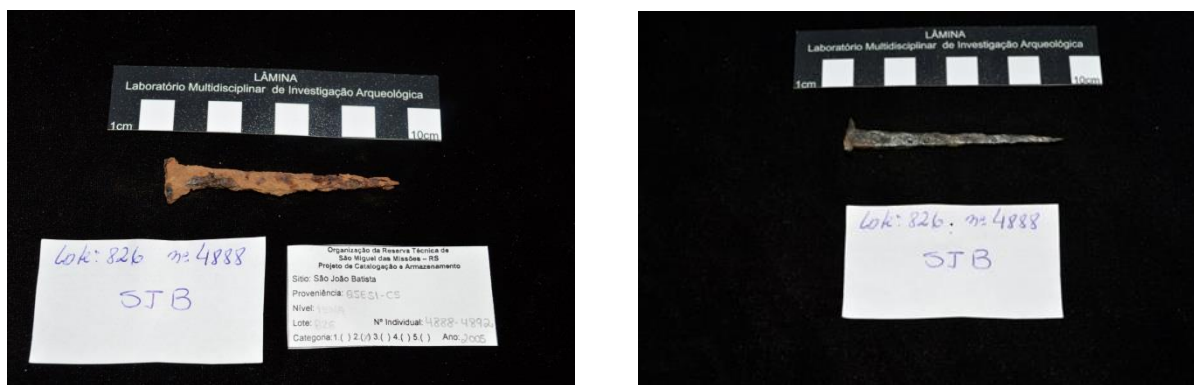
Fonte: autor

Tabela 6 - controle no quarto dia de tratamento.

Área Total	Artefato	Data	Hora Inicial	Hora Final	VCC	ICC	Tempo Total	OBS
~120 cm ²	2526	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4879	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4880	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4881	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4882	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4883	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4888	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4889	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4891	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	
	4897	1/08/2017	10h50'	16h19'	2,91V	0,6A	5h19'	

Fonte: autor

4.5.5 – Registro fotográfico antes e depois do tratamento eletrolítico



(a)

(b)

Figura 44 - artefato 4888, antes e depois tratamento eletrolítico

Fonte: auto

Na figura 44 pode-se observar um dos artefatos tratados juntamente com o conjunto citados na tabela 2. Na figura (a) o artefato demonstra sua condição antes de receber o tratamento pela ação da eletrólise e a figura (b) como podemos observar o artefato tratado e recuperado. Pode-se concluir dessa forma, que o experimento conseguiu cumprir satisfatoriamente com finalidade para o qual foi projetado.

Considerações finais

A conservação de objetos metálicos, sobretudo os de ferro, representa uma das preocupações na preservação de materiais arqueológicos. As equipes, normalmente insuficientes e o orçamento apertado inviabilizam muitos laboratórios em manter especialistas de todas as áreas requeridas, obrigando dessa forma a um desdobramento dos profissionais, de modo a cobrir as lacunas deixadas por essa falta. Neste trabalho buscou-se acrescentar melhoramentos ao sistema de redução eletrolítica, existente no laboratório LÂMINA, através do desenvolvimento de um protótipo (cuba eletrolítica) com maior eficiência e de baixo custo operacional.

Não foi objeto deste trabalho, deter-se nas especificidades das análises de matéria-prima utilizada e de fabricação dos objetos metálicos ferrosos. Apenas gostaríamos de deixar claro que a composição, origem, técnica de fabricação desses materiais, exercem influência na escolha da melhor técnica à ser utilizada na conservação de objetos metálicos ferrosos.

Por outro lado, é preciso salientar a importância de uma prévia avaliação do objeto a ser tratado. A técnica aqui descrita aplica-se somente àqueles objetos cujo núcleo conserva as características de forma do objeto original, não sendo aplicável aos objetos em que a corrosão esteja por demais acentuada. No caso dos objetos em que a estrutura do ferro cedeu lugar à oxidação, já não resta do objeto senão vestígios de sua forma original, e está praticamente constituído por óxido de ferro. A conservação de tais vestígios, praticamente se restringe à consolidação e isolamento através de outras técnicas aqui não mencionadas.

Muito embora o projeto tenha alcançado os objetivos previstos, cabe-se ressaltar que as melhorias do sistema continuarão a ser projetadas, e por certo serão objetos de publicações num futuro trabalho. O sistema serviu na prática para testar a possibilidade de execução empregando-se o mínimo de recursos financeiros, contando este, apenas com poucos recursos particulares dos componentes envolvidos no projeto.

Referências

- ACÁN, ANA E. **La aplicación de químicos en la restauración de metales**. Anais 2º Congresso Latino-Americano de Restauração de Metais Rio de Janeiro. Museu de Astronomia e Ciências Afins – MAS. 2005. pp 29-50. Disponível em: http://www.mast.br/pdf/anais_2_congresso_latino_americano_de_restauracao_de_metais.pdf
- ALBUQUERQUE, Marcos; LIMA, Angelina. **Preservação de objetos metálicos resgatados em sítios arqueológicos históricos**. Disponível em: <http://www.magmarqueologia.pro.br/FerroSab>. Acessado em 23 de março de 2018.
- CALLISTER, Willian D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2008, pp.572-584.
- CAMPOS, Guadalupe Nascimento – **Cartilha de orientações gerais para preservação de artefatos arqueológicos metálicos**./ Guadalupe Nascimento Campos e Marcus Granato – Rio de Janeiro: Museu de Astronomia e Ciências Afins, 2016. 16p.: Il. Disponível em< <http://pt.calameo.com/read/000075335d0a70e57029>> Acesso em: 23 jan. 2018.
- CARLE, Claudio Baptista. **Metalurgia nas Missões – Uma Introdução. Dissertação** (Mestrado em História), Porto Alegre, Pós-Graduação em História Ibero-Americana, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 1993. 213f. Orientador: Prof. Dr. Arno Alvarez Kern.
- COSTA, Virginia. **Ligas metálicas: estrutura, propriedades e conservação de objetos culturais**. In: SILVA, Armando Coelho da; HOMEM, Paula Menino (Orgs.). **Ligas metálicas**. Investigação e Conservação. Porto: Universidade do Porto, 2008. p.15-38.
- CRONYN, J. M. **The elements of archaeological conservation**. Londres: Routledge, 1990.
- CURY, Isabelle. **Cartas Patrimoniais**. Rio de Janeiro: IPHAN, Edições do Patrimônio, 3º Edição, 2004.
- Domenech-Carbo, **Electrochemistry for conservation science, Journal of Solid State Electrochemistry**, 2010, pp. 349-351.
- FAJARDO, M. **Técnicas electroquímicas aplicadas a la conservación del patrimonio cultural**. European Chemistry Thematic Network, Working Group in Cultural Heritage, Ciencias Experimentales para la Conservación del Patrimonio. Universidad Rey Juan Carlos, Burgos 18-21 de Noviembre 2008.
- FIGUEIREDO JUNIOR, J. C. D. de. **Química Aplicada à conservação e restauração de bens culturais: uma introdução**. Belo Horizonte: São Jerônimo, 2012.
- FOLEY, V. P. (1967). **Suggested Design and Construction for Small Laboratory Electrolysis Apparatus**. In *The Conference on Historic Site Archaeology Papers, 1965-1966*, edited by S. South. Institute of Archaeology and Anthropology, University of South Carolina, Columbia.

FRONER, Yacy-Ara. **Reserva Técnica**. In: **Tópicos em conservação preventiva** – 8. LACiCor – eBA – UFMG. Belo horizonte:, 2008.

FRONER, Yacy-Ara org. **Cadernos de Ciência & Conservação - Teoria e Contexto**. (v1, n.1. : 2014 : Belo Horizonte).

GARCÍA, José María Alonso. **Metodología y técnicas de conservación de objetos arqueológicos de hierro: Estudio cuantitativo y comparado dela estabilización de ocho objetos del yacimiento medieval de Medina Elvira(Granada)**. Universidad de Granada. Faculdade de Bellas Artes. Departamento de Pintura. Tese de doutorado. Granada. 1995. 224p.

GENTIL, Vicente. Corrosão. In: **Corrosão**. Guanabara dois, 1982.Disponivel em: <<http://engenheirodemateriais.com.br/2017/04/26/as-formas-de-corrosao/#more-4572>> Acesso em: 15 jan. 2018.

HAMILTON, Donny L.(1999), **Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites**. Conservation Research Laboratory Center for Maritime Archaeology and Conservation. Nautical Archaeology Program Department of Anthropology Texas A&M University College Station, Texas Revision Number 1 January, 1999.

HAMILTON, D. L. (1998). **Methods of conserving archaeological material from underwater sites**. Texas: Conservation Research Laboratory, Center for Maritime Archaeology and Conservation.

HAMILTON Donny, L. (1996) **Basic Methods of Conserving Underwater Archaeological Material Culture**. Legacy Resource Management Program. Washington D.C.: U.S. Department of Defense, 1996.

HAMILTON Donny, L. (1976). **Conservation of Metal Objects from Underwater Sites: A Study in Methods**. Texas Antiquities Committee Publication No. 1, Austin.

LÔREDO, Wanda Martins. **Manual de conservação em arqueologia de campo**. Brasília, Iphan, 1994.

LÜBECK, M. **Os Trabalhos Apostólicos e a Metalurgia Missioneira do Padre Jesuíta Antônio Sepp**. Anais do XI Seminário Nacional de História da Matemática, CO 42. Sociedade Brasileira de História da Matemática – SBHmat. 2015. Disponível em: <http://www.sbhmat.org/wa_files/c42.pdf> Acesso 16Jan18.

MEYER-ROUDET, Hélène. **A la recherche du metal perdu. Nouvelles technologies dans la restauration des métaux archéologiques**. Paris: Editions Errance, 1999.

MOUREY, W. (1997) “**Synthese des essais sur les revêtements de protection des métaux (1986-1995)**”, Metal 95.Proceedings of the international conference on metals conservation, James & James Ltd. pp. 225-228.

MOUREY, W.; CZERWINSKY, E. (1993) “**Essais comparatifs de revêtements protecteurs utilisés en conservation et restauration des métaux**”, ICOM Committee for conservation 10th Triennial Meeting,Washington, DC, USA, 22-27 August 1993, Paris p. 779-785.

MOUREY, W. (1987) “**Conservation et restauration des objets archeologiques**”, **Compte- Rendu de la reunion des laboratoires de Conservation-Restauration des objets archeologiques**, ed. du CNRS, Paris.

NORTH, N. A. (1987). **Conservation of Metals**. In **Conservation of Marine Archaeological Objects**, edited by C. Pearson, pp. 207-252. Butterworths, London.

OLIVEIRA, Mário Mendonça. **Tecnologia da Conservação e da Restauração: Materiais e Estruturas**. 3. ed. Salvador: EDUFBA-PPGAU, 2006.

ORGAN, R. M., (1968). **Design for Scientific Conservation of Antiquities**. Smithsonian Institution Press, Washington DC.

PEARSON, C. (1972). **The Preservation of Iron Cannon after 200 Years under the Sea**. *Studies in Conservation* 17.

PLENDERLEITH, H. J. (1998) **"A history of conservation"**, *Studies in Conservation*, vol.43, (3), pp. 129-143.

PLENDERLEITH, H. J, and A. E. A. Werner, (1971). **The Conservation of Antiquities and Works of Art**. Revised Edition. Oxford University Press.

PLENDERLEITH, H. J.(1969) **"Preservation des biens culturels"**, *Musees et Monuments*, 11, UNESCO, Paris.

PLENDERLEITH, H. J., and G. Torraca. (1968). **The Conservation of Metals in the Tropics**. In **the Conservation of Cultural Property**. *Museum and Monuments* 11:237-249. UNESCO, Paris.

PLENDERLEITH, H.J. (1956) **The Conservation of Antiquities and Works of Art: Treatment, Repair, and Restoration**. London: Oxford University Press, (1956, p. 185-291).

RODGERS, B. A. **The archaeologist's manual for conservation: a guide to nontoxic, minimal intervention artifact stabilization**. Nova Iorque: Kluwer Academic Publishers, 2004.

SELWYN, Lyndsie. **Metals and Corrosion: a handbook for the conservation professional**. Canada: Canadian Conservation Institute, 2004.

STAMBOLOV, V., **"The Corrosion and Conservation Of Metallic Antiquities and Works of Arts"**, Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, Amsterdam, 1985.

TYLECOTE, R. F. **A History of Metallurgy**. Maney Publishing. Second Edition. UK, 2002. 205p.

TOWNSEND, S. P. (1972). **Standard Conservation Procedures**. In *Underwater Archaeology; A Nascent Discipline*. *Museum and Monuments* 13:251-256. UNESCO, Paris.