

AVALIAÇÃO DA TAXA DE CORROSÃO DAS MOEDAS DA FAMÍLIA DO REAL

Lucas Stéphan Viegas ¹
Jane Zoppas Ferreira ²

Resumo

A fim de perdurar e oferecer valor, as moedas são fabricadas em diversos metais, que podem sofrer degradação devido à corrosão. Este trabalho tem o intuito de avaliar a taxa de corrosão das moedas do Real, atuais moedas circulantes no Brasil, através da exposição às intempéries do ambiente urbano e marítimo, imersão em suor artificial e solução salina e através dos ensaios acelerados em câmara úmida e névoa salina. Foi possível avaliar a taxa média de corrosão e a qualidade dos materiais utilizados, que se mostraram ineficientes, pois apresentaram produtos de corrosão em todos os meios expostos e, quando presente, o revestimento não ofereceu proteção ao metal base. As moedas em cruponíquel e aço inoxidável apresentaram as menores taxas de corrosão, enquanto as moedas revestidas em cobre e bronze eletrolítico foram as mais agredidas nos meios. As moedas formadas por duas peças apresentaram corrosão preferencial, indicando assim uma inadequação dos materiais utilizados.

Palavra-chave: Moeda; Real; Corrosão.

CORROSION RATE EVALUATION OF REAL FAMILY'S COINS

Abstract

In order to persist and to offer value, coins are made by different metals that may degraded due to corrosion. The aim of this work is to evaluate the corrosion rate of Real coins, current circulating coins in Brazil, by exposition to urban and marine environment, immersion in artificial sweat and salt solution and through the accelerated tests on 100% humidity chamber and salt spray. It was possible to evaluate the average corrosion rate and the quality of materials used, which are inefficient because presented corrosion products in all media. The coating, when present, did not provide protection to the base metal. Cupronickel and stainless steel coins showed the lowest corrosion rates, whereas the coins covered by copper and brass were the most degraded in all media. The coins formed by two different materials showed preferential corrosion, indicating a mismatch of the materials used.

Keywords: Coin; Real; Corrosion.

1 INTRODUÇÃO

Devido às excelentes propriedades mecânicas e valor agregado, utilizam-se os metais para a fabricação de moedas. Entre os anos 1994 e 1997 utilizou-se aço inoxidável para a confecção das moedas brasileiras. Entretanto, as moedas sofrem frequente manuseio e são estocadas em locais impróprios estando expostas ao íons como Cl⁻, que causa corrosão localizada, por exemplo, em aços inoxidáveis [1]. Com elevado custo de produção e manutenção, em 1998 a 1ª Família foi substituída pela 2ª Família das moedas [2]. Atualmente, são fabricados 3 modelos de moedas: em aço inoxidável, aço com revestimento eletrolítico em cobre e bronze e moedas formadas por duas peças de metais diferentes.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a taxa de corrosão das moedas da Família do Real, em vista que não há publicações relacionadas à este assunto, apenas envolvendo os materiais utilizados para a confecção das moedas [3-5].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As moedas estudadas são as pertencentes à 1ª Família do Real (cunhadas entre 1994 e 1997) e a 2ª Família do Real (a partir de 1998) [2]. Suas características e nomenclatura são encontradas na Tabela I. A exceção da moeda IRA que

¹Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Lacor, Porto Alegre, RS, Brasil.
E-mail: lucas.stviegas@gmail.com

²Departamento de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.



Tabela 1. Moedas da Família do Real

Valor (R\$)	Família	Nome	Composição	Massa (g)
0,01	1°	ICA	Aço Inoxidável (SS-430)	2,96
0,05		5CA		3,27
0,10		10CA		3,59
0,25		25CA		4,78
0,50		50CA		3,92
1,00		IRA		4,27
0,01	2°	ICN	Aço revestido em cobre	2,43
0,05		5CN		4,10
0,10		10CN	Aço revestido em bronze (Cu (88%), Sn (12%))	4,80
0,25		25CN		7,55
0,50		50CNA		Cuproníquel (Cu (75%), Ni (25%))
0,50		50CN	Aço Inoxidável	7,81
1,00		IRNA	Disco em Cuproníquel e Anel exterior em Alpaca (Cu (61%), Ni (18%), Zn (17%))	7,84
1,00		IRN	Disco em Aço inoxidável e Anel exterior aço revestido em bronze	7

não é mais aceita financeiramente, todas as moedas foram expostas às intempéries do ambiente urbano e marítimo, imersas em suor artificial e solução salina e ensaiadas em câmaras de névoa salina e de vapor condensado.

As moedas da 1° Família foram recolhidas do meio circulante e, a fim de garantir uniformidade do estudo, apenas moedas com massa igual à da produção foram utilizadas. As moedas da 2° Família foram recolhidas no banco distribuidor. As moedas foram preparadas conforme norma ASTM G1-03 [6] e separadas em 18 conjuntos, cada qual contendo as 13 moedas circulantes (Tabela 1), totalizando 234 moedas. Em cada um dos 6 ensaios foram utilizados 3 conjuntos (triplicada), totalizando 39 moedas por ensaio.

Conjuntos foram expostos pelo período de 180 dias em ambiente urbano (Curitiba, PR) e ambiente marítimo (Cidreira, RS). Seguindo a norma ASTM G50-10 [7], que regulamenta ensaios de corrosão atmosférica, os conjuntos ficaram posicionados com ângulo de 30°, direção norte e em ambiente aberto. As massas foram medidas no início e, ao final dos ensaios, as moedas foram lavadas com água corrente, secas e, sem a remoção dos óxidos formados, foram pesadas a fim de avaliar a taxa de corrosão, o estado superficial e o óxidos formados.

Os ensaios por imersão, apesar de serem comparativos, apresentam-se de forma mais intensa às situações reais a que estão expostas as moedas, pois os óxidos formados podem desprender-se da superfície mais facilmente. As moedas foram imersas em solução de suor artificial (10g/L NaCl, 1,25g/L Na₂HPO₄ e ácido láctico 1ml/L) [1] e solução salina NaCl 5% por 145 dias. A cada duas semanas eram lavadas com água corrente, secas e, sem a remoção dos óxidos formados, pesadas.

O ensaio em névoa salina visa simular de forma acelerada a exposição em ambiente marítimo, enquanto o ensaio em câmara úmida, a ambientes com elevada umidade relativa. Os ensaios de névoa salina e de câmara úmida

foram realizados por 1000 horas, conforme as normas ASTM B117 [8] e NBR 8095 [9], respectivamente. As massas foram medidas no início e, ao final do ensaio, as moedas foram lavadas com água corrente, secas e, sem a remoção dos óxidos formados, pesadas.

3 RESULTADOS

3.1 Imersão em Suor Artificial

As moedas em aço inoxidável não apresentaram variação nas suas massas e, a vista desarmada, não era possível visualizar produtos de corrosão. As moedas revestidas em cobre sofreram perda de massa ao longo do ensaio e, nos casos onde houve maior perda, verificou-se a presença de óxido vermelho, indicando ataque ao substrato. A Figura 1 apresenta as curvas de perda de massa para as moedas revestidas em cobre imersas em suor artificial por 145 dias.

As moedas revestidas em bronze apresentaram dois comportamentos, como mostra a Figura 2. As moedas 10CN sofreram perda inicial de massa e então esta manteve-se. As moedas 25CN, por sua vez, apresentaram perda até o final do estudo.

As moedas em cuproníquel apresentaram perda de brilho e perda de massa inferior a 0,02g nos primeiros 25 dias e então a massa manteve-se constante. A Figura 3 apresenta as perdas de massa das moedas formadas por duas peças, IRNA e IRN, imersas em suor artificial por 145 dias. A vista desarmada, era possível observar que ambas apresentaram corrosão preferencial no anel exterior, onde há óxido vermelho formado.

A Tabela 2 apresenta as taxas de corrosão média, em g/mês.cm², para cada grupo de moedas. Observa-se que as moedas revestidas com cobre, ICN e 5CN, foram as que tiveram a maior perda de massa em exposição ao suor artificial.

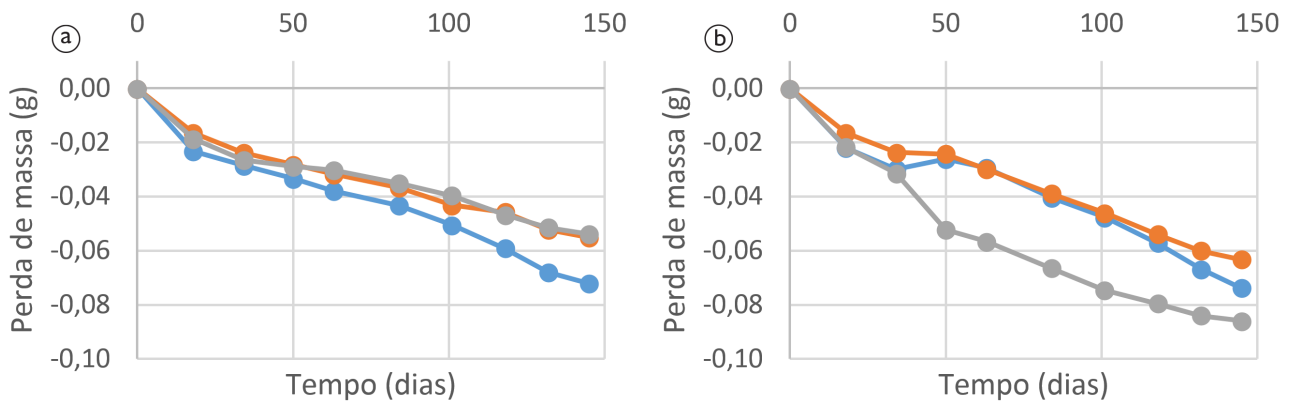


Figura 1. Perda de massa das moedas ICN (a) e 5CN (b), em triplicata, imersas em suor artificial por 145 dias.

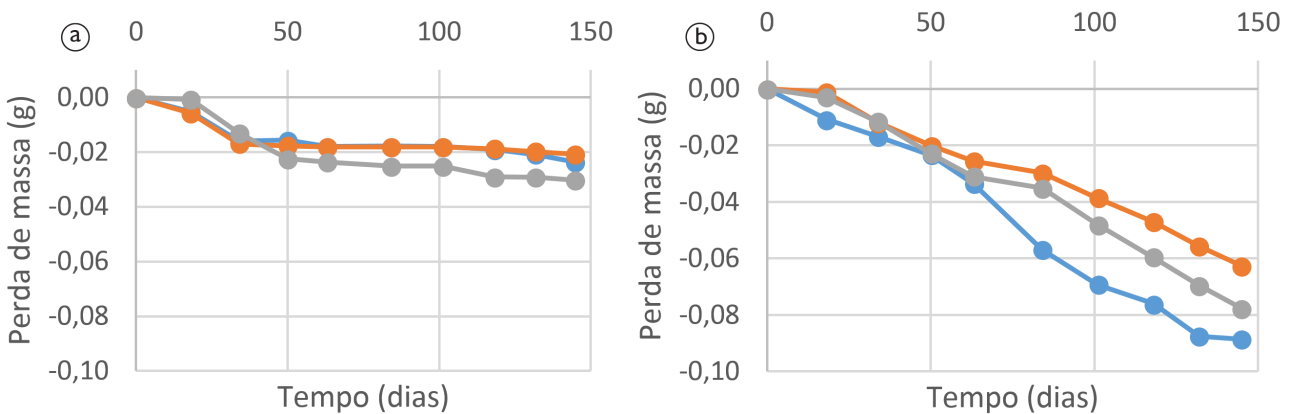


Figura 2. Perda de massa das moedas 10CN (a) e 25CN (b), triplicata, imersas em suor artificial.

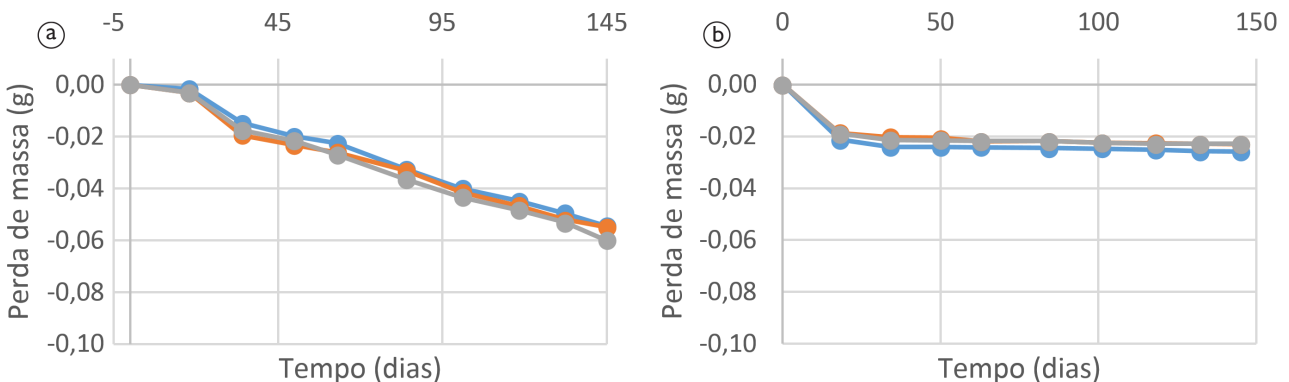


Figura 3. Perda de massa das moedas de IRN (a) e IRNA (b), em triplicata, no ensaio de imersão em suor artificial por 145 dias.

A Figura 4 apresenta as moedas da 2^o família, conjunto 2. Este conjunto representa o comportamento da triplicata submetida ao ensaio de imersão em suor artificial.

3.2 Imersão em Solução Salina

Através dos gráficos da Figura 5, pode-se afirmar que houve pequena perda de massa para as moedas em aço inoxidável. Apenas uma peça 25CA e uma 50CA apresentaram alguma perda. Como é possível observar na Figura 6, estas moedas apresentaram grande área de corrosão vermelha. Ainda que haja óxido na superfície, a perda de massa é

justificada devido sua constante formação e despreendimento e migração para o meio.

Na 2^o Família do real, as moedas revestidas com cobre apresentaram zonas de óxido preto (óxido de cobre I) e perda de massa durante todo período de ensaio, indicando baixa resistência à corrosão do revestimento em meio salino, assim como ocorreu quando imersas em suor artificial. Na Figura 7 são apresentadas as perdas de massa para estas moedas imersas em solução salina por 145 dias.

As moedas revestidas em bronze apresentaram as maiores perdas de massa neste ensaio, com áreas de óxido vermelho. As moedas em cuproníquel obtiveram taxa de



Figura 4. Conjunto 2, moedas imersas em solução de suor artificial por 145 dias.

Tabela 2. Taxa de corrosão média para as moedas imersas em suor artificial por 145 dias

Moeda	Taxa corrosão (g/m ² cm ²)
1CA	0,0001
5CA	0,0000
10CA	0,0000
25CA	0,0000
50CA	0,0000
1CN	0,0023
5CN	0,0018
10CN	0,0007
25CN	0,0014
50CNA	0,0005
50CN	0,0000
1RNA	0,0004
1RN	0,0009

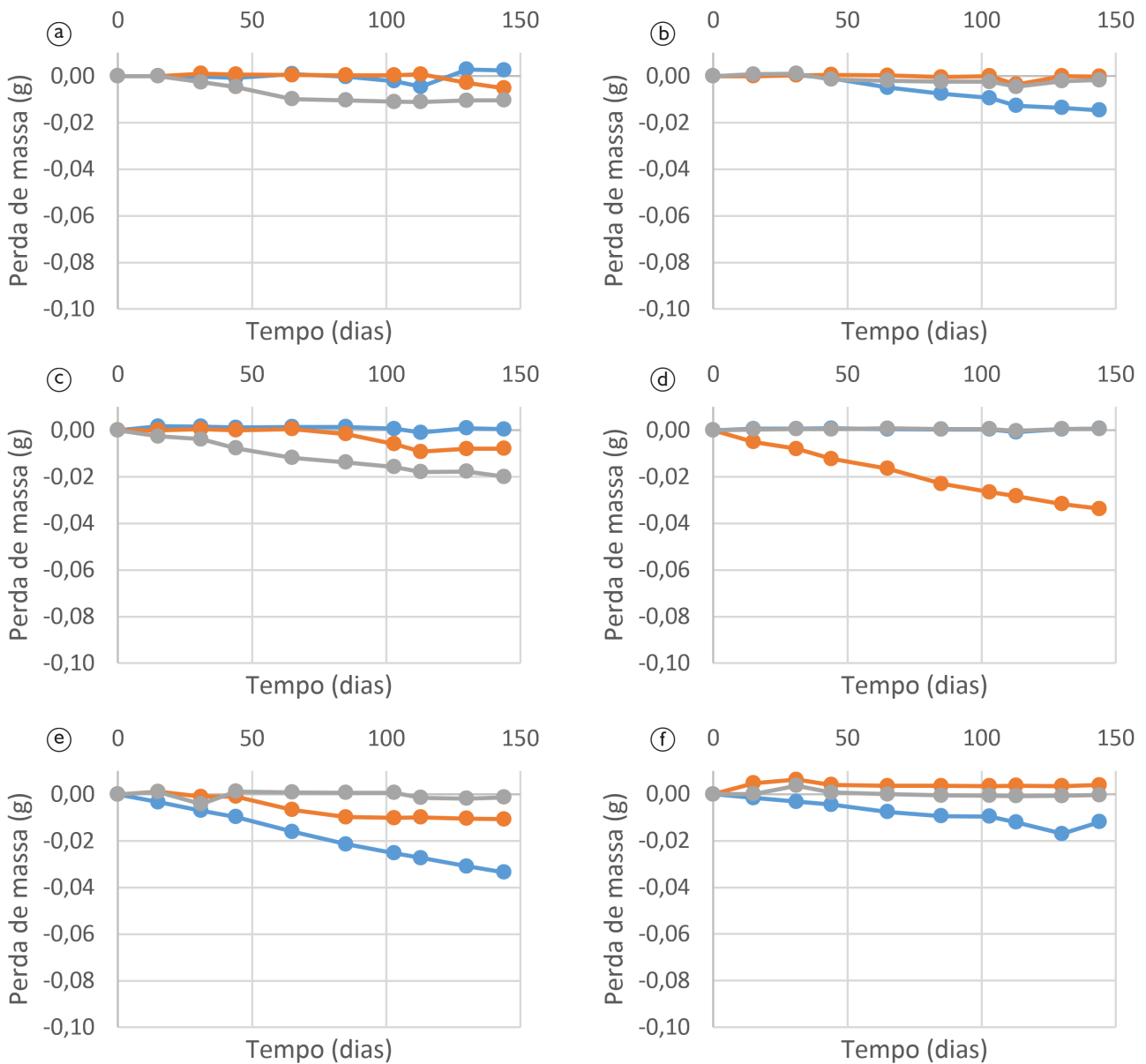


Figura 5. Perda de massa das moedas ICA (a), 5CA (b), 10CA (c), 25CA (d), 50CA (e) e 50CN (f), em triplicata, imersas em solução salina NaCl 5% por 145 dias.



Figura 6. Moedas 25CA e 50CN que apresentaram área de óxido vermelho.

corrosão média nula, indicando bom desempenho do material no meio. As moedas IRN, por sua vez, apresentaram elevado volume de óxido. A Figura 8 apresenta as perdas de massa destas moedas.

A Tabela 3 exibe as taxas de corrosão média para o ensaio de imersão em solução salina e a Figura 9 expõe as moedas do conjunto 15, conjunto representativo para os três ensaiados.

3.3 Ambiente Urbano

O tempo de exposição, 180 dias, não foi suficiente para as moedas apresentarem produtos de corrosão visíveis, à exceção das moedas revestidas em cobre, que sofreram perda de brilho e pequenas regiões de óxido preto, Figura 10a.

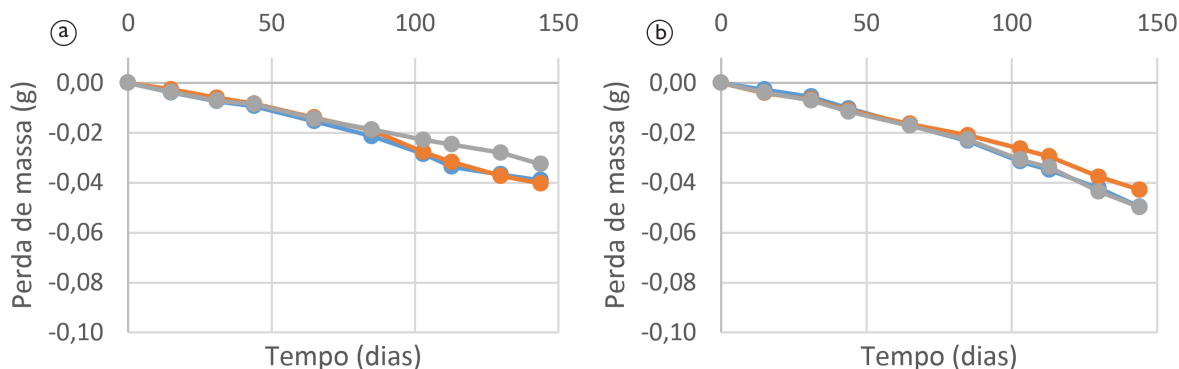


Figura 7. Perda de massa das moedas 1CN (a) e 5CN (b), em triplicata, imersas em solução salina NaCl 5% por 145 dias.

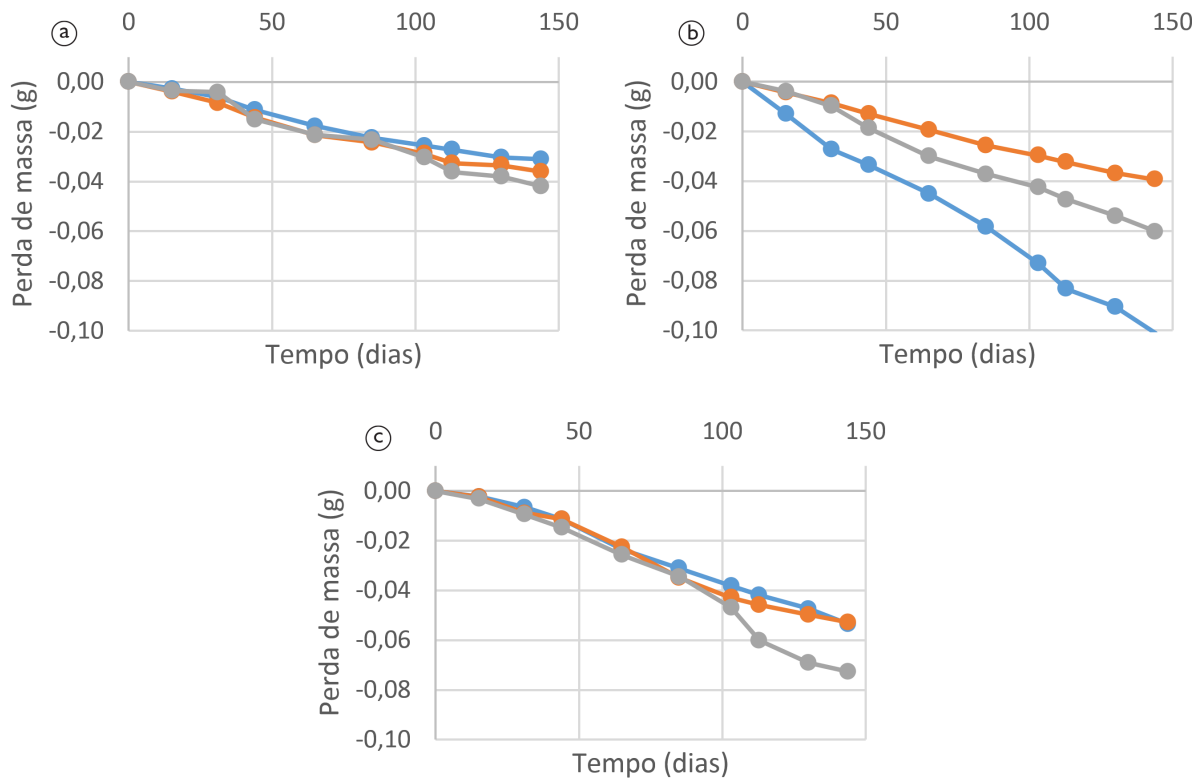


Figura 8. Perda da massa das moedas 10CN (a) e 25CN (b) IRN (c), em triplicata, imersas em solução salina NaCl 5% por 145 dias.

3.4 Ambiente Marítimo

Diferentemente dos ensaios de imersão, as moedas expostas ao ambiente marítimo por 180 dias apresentaram ganho de massa, podendo afirmar que os óxidos formados aderiram à superfície. A vista desarmada, verificavam-se pequenas regiões de óxido vermelho nas moedas em aço inoxidável e óxidos de cor marrom na superfície das moedas com revestimento de cobre e bronze. As moedas em cuproníquel exibiram apenas perda de brilho. A Tabela 4 reúne as taxas de corrosão para este ensaio, enquanto a Figura 10b apresenta o conjunto de moedas mais representativo.

3.5 Câmara Úmida

A vista desarmada, não se encontraram óxidos na superfície das moedas ensaiadas em câmara úmida por 1000 horas, à exceção das moedas revestidas em cobre. A Figura 11 apresenta as moedas 5CN avaliadas. É possível identificar duas regiões: a área não atacada que corresponde à parcela que foi protegida pelo suporte, e a região exposta, escura devido a formação de óxido.



Figura 9. Conjunto 15, moedas imersas em solução salina por 145 dias.



Figura 10. (a) moedas revestidas em cobre após 180 dias de exposição ao ambiente urbano e (b) conjunto 7, moedas ao final do ensaio de exposição ao ambiente marítimo por 180 dias.

3.6 Névoa Salina

A exceção das moedas em cuproníquel, todas as moedas apresentaram óxidos em sua superfície. O revestimento em cobre se mostrou o menos resistente à corrosão, exibindo

Tabela 3. Taxa de corrosão média para as moedas imersas em solução salina por 145 dias

Moedas	Taxa corrosão (g/mês cm ²)
1CA	0,0001
5CA	0,0001
10CA	0,0002
25CA	0,0002
50CA	0,0003
1CN	0,0014
5CN	0,0011
10CN	0,0010
25CN	0,0012
50CNA	0,0000
50CN	0,0001
1RNA	0,0000
1RN	0,0009

Tabela 4. Taxa de corrosão das moedas expostas em ambiente marítimo por 180 dias

Moeda	Taxa corrosão (g/mêscm ²)
1CA	-0,0002
5CA	-0,0006
10CA	-0,0003
25CA	-0,0007
50CA	-0,0006
1CN	-0,0009
5CN	-0,0005
10CN	-0,0015
25CN	-0,0005
50CNA	-0,0006
50CN	-0,0002
1RNA	-0,0003
1RN	-0,0004



Figura 11. Moedas 5CN após exposição em câmara úmida por 1000 horas.



Figura 12. Conjunto 14, moedas ao final do ensaio de névoa salina com exposição de 1000h.

Tabela 5. Taxa de corrosão das moedas ensaiadas em névoa salina por 1000 horas

Moedas	Taxa corrosão (g/mês cm ²)
1CA	0,0001
5CA	-0,0002
10CA	-0,0004
25CA	-0,0006
50CA	-0,0002
1CN	-0,0001
5CN	-0,0003
10CN	-0,0003
25CN	-0,0004
50CNA	-0,0002
50CN	0,0000
IRNA	0,0000
IRN	-0,0002

óxidos pretos e verdes, bem como as moedas em bronze. A Tabela 5 reúne as taxas de corrosão e a Figura 12 o conjunto de moedas mais representativo ao ensaio de névoa salina.

4 DISCUSSÃO

As moedas em aço inoxidável apresentaram as menores taxas de corrosão nos ensaios realizados, sendo apenas de maior expressão quando há a presença de Cl⁻,

pois este íon pode romper o filme de óxido de cromo, levando a produção contínua do óxido.

É possível afirmar que o revestimento menos resistência à corrosão é o cobre, pois alinhado às maiores taxas de corrosão, exibiu óxidos em todos os ensaios. Este comportamento pode ser explicado pelo óxido de cobre, que é um óxido básico e portanto se dissolve em meios ácidos, como suor artificial e ambiente urbano [4].

As ligas de bronze podem apresentar um óxido avermelhado e protetor proveniente da oxidação natural da liga e um óxido verde, que ocasiona a deterioração da peça [5]. Ambos óxidos foram formados nas moedas, porém apenas o ensaio de névoa salina resultou em oxidação de coloração verde, indicando que em meio urbano e o manuseio, contato com o suor artificial, são geradores de óxido protetor.

Segundo Mussoi, a liga de cuproníquel apresenta desniqulação mesmo em meios pouco agressivos, ainda que em ensaios de curta duração não seja possível observar formação de pites ou irregularidades na superfície, quer seja a vista desarmada ou utilizando microscopia. Isso pode significar que o tempo dos ensaios não foi suficiente para a formação de óxidos visíveis.

Através da tabela de potenciais de oxidação [1] pode-se afirmar que as moedas formadas por duas peças apresentarão oxidação preferencial no metal menos nobre. Esse comportamento foi exibido pelas moedas IRNA e IRN, onde o anel de aço com revestimento em bronze apresentou oxidação. É possível que a oxidação das moedas IRN seja justificada por sua maior diferença de potencial entre as duas peças, comparado as duas peças das moedas IRNA.

5 CONCLUSÃO

As moedas em circulação enfrentam diversas situações, guardadas com outras moedas de materias diferentes, meios agressivos como marítimo e urbano, e por conta disso a deterioração é constante, gerando custos de manutenção e fabricação. Através dos ensaios realizados, foi possível observar a oxidação das moedas nos variados meios, confirmando assim que alguns metais utilizados podem não ser indicados para este uso.

A liga cuproníquel obteve os melhores resultados, porém devido ao elevado custo, não se encontram mais em fabricação. Assim, o aço inoxidável se mostrou o melhor material utilizado e o cobre e bronze estão como os menos indicados para a fabricação de moedas. Por sua vez, o uso de moedas formadas por duas peças com metais diferentes precisa ser revisto, uma vez que a diferença de potencial entre as peças pode auxiliar no processo de oxidação.

REFERÊNCIAS

- 1 Burns RM, Brandey WW. Protective coatings for metals. New York: Reinhold Publishing Corporation; 1995.
- 2 Banco Central do Brasil – BCB. Moedas. Brasília: BCB; 2013 [acesso em 16 set. 2013]. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/?MOEDA>
- 3 Mussoi CRS, Serra ET, de Araújo AA. Corrosão seletiva nas ligas cuproníquel (90-10) empregadas em trocadores de calor em usinas hidrelétricas. In: 6º COTEQ COTEQ Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos; 2002; Salvador, Bahia. Buenos Aires: AAENDE
- 4 Fontinha IR, Salta MM. Corrosão e conservação de estátuas de liga de cobre. Corrosão e Protecção de Materiais. 2008;27(3):87-94.
- 5 U.S. Department of the Interior. National Parks Service, Cultural Resources, Preservation Assistance. Metals in America's historic buildings. Washington; 1992.
- 6 American Society for Testing and Materials – ASTM. ASTM G1-03: standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens. West Conshohocken: ASTM; 2011.
- 7 American Society for Testing and Materials – ASTM. ASTM G50-10: standard practice for conducting atmospheric corrosion tests on metals. West Conshohocken: ASTM; 2010.
- 8 American Society for Testing and Materials – ASTM. ASTM B117: standard practice for operating salt spray (fog) apparatus. West Conshohocken: ASTM; 2011.
- 9 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. ABNT NBR 8095: material metálico revestido e não-revestido: corrosão por exposição à atmosfera úmida saturada: método de ensaio. Rio de Janeiro.

Recebido em: 19 Jun. 2015

Aceito em: 14 Out. 2015