



Tópico 3 - Nº 11

ENSAIO NÃO DESTRUTIVO PARA A QUANTIFICAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SAL EM ARGAMASSAS DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

Manuela Marques Lalane Nappi(1); Sérgio Castello Branco Nappi(2); João Carlos Souza(3).

(1) *Doutoranda, PósARQ/Universidade Federal de Santa Catarina*

(2) *Doutor, Professor/Universidade Federal de Santa Catarina*

(3) *Doutor, Professor/Universidade Federal de Santa Catarina*

(1) *lalppi.ms@gmail.com* (2) *nappi@arq.ufsc.br* (3) *joao.carlos@ufsc.br*

RESUMO

O sal, uma substância indispensável ao homem e a todos os tipos de vida animal, nem sempre nos traz benefícios. Os fenômenos da umidade e da salinidade se destacam entre os principais responsáveis pelos mais frequentes danos existentes em alvenarias revestidas com reboco em edifícios antigos. A verificação da existência de sais de cloreto, nitrato e sulfato em revestimentos argamassados constitui-se em um experimento simples e rápido. No entanto, a quantificação desses sais é realizada através de procedimentos efetuados em laboratórios, cujo custo é alto e o tempo pode ser considerado como relativamente longo. Esta pesquisa teve como proposta verificar a potencialidade de um condutivímetro na quantificação da concentração de sais (cloreto, nitrato e sulfato) presentes em argamassas de cal e areia e em argamassas de cimento, cal e areia. Para tanto, foram confeccionados corpos de prova de argamassas com diferentes traços e contaminadas com diferentes sais em quantidades pré-estabelecidas. A utilização do condutivímetro na quantificação de sais em argamassas apresentou-se como um método prático e rápido, possível de ser realizado in loco. Este trabalho apresenta uma revisão sobre o fenômeno da salinidade nas argamassas de edifícios históricos, a metodologia desenvolvida e os resultados obtidos.

Palavras-Chave: *ensaio não destrutivo; edifícios antigos; argamassas contaminadas por sais.*

1. INTRODUÇÃO

O sal é uma substância indispensável ao homem e a todos os tipos de vida animal. A sua importância pode ser verificada nas inscrições da história humana, onde são encontradas ilustrações que demonstram a sua produção e utilização. Segundo Nappi [1], a palavra salário é derivada de sal, uma vez que com o próprio sal era liquidado uma parte do pagamento das legiões romanas. Um dos acessos principais de Roma ainda hoje se chama "Via Salaria", porque caravanas chegavam por aquela estrada, trazendo sal para a capital do império. Mais tarde, entre os séculos XIX e XX, o sal se tornou uma das matérias-primas essenciais para a indústria química. Atualmente, o seu emprego é extremamente diversificado e vai desde a produção de cloro, alumínio e plástico, até produtos têxteis, borracha, celulose e centenas de produtos das indústrias alimentícias, por exemplo.

No entanto, essa importante substância da vida moderna nem sempre nos traz benefícios, pois são os fenômenos da umidade e da salinidade que se destacam entre os principais responsáveis pelos mais frequentes danos existentes em alvenarias revestidas com reboco. Além dos problemas de insalubridade e estética decorrentes desses fenômenos, eles contribuem significativamente para uma acelerada deterioração dos materiais que afetam.

Nappi [1] destaca dois momentos importantes da história, quando problemas decorrentes de sais nos edifícios foram citados. Segundo o autor, por ser um sal mais utilizado no dia-a-dia, supõe-se



que o sal a que se referem os textos seja o cloreto de sódio. No Capítulo 9 do Livro dos Juizes da Bíblia Sagrada encontra-se uma passagem que descreve a história do Rei Abimelec de Israel, em sua luta vitoriosa contra Gaal, na cidade de Síquem. No Versículo 45 está escrito: *“Abimelec combateu a cidade durante todo aquele dia e tomou-a. Matou toda a população, arrasou a cidade e semeou-a de sal”*. Na história do Brasil, segundo Bueno [2], no julgamento de Tiradentes, o grande Mártir brasileiro, os juizes sentenciaram:

Pelo abominável intento de conduzir os povos da capitania de Minas a uma rebelião, os juizes deste tribunal condenam o réu a que, com baraço e pregão, seja conduzido pelas ruas públicas ao lugar da forca e nela morra a morte natural para sempre, e que depois de morto lhe seja cortada a cabeça e levada a Vila Rica, onde em lugar mais público dela será pregada, em poste alto até que o tempo a consuma; e o seu corpo será dividido em quatro quartos, e pregado em postes, pelo caminho de Minas, onde o réu teve suas infames práticas, até que o tempo também os consuma; e declaram o réu infame, e seus filhos e netos, e os seus bens aplicam para o Fisco, e a casa em que vivia em Vila Rica será arrasada e salgada, para que nunca mais no chão se edifique, e no mesmo chão se erguerá um padrão, pelo qual se conserve a memória desse abominável réu.

Observa-se, assim, que havia muito tempo que já se conheciam os problemas gerados pelos sais nas edificações de alvenaria. E os sais eram utilizados, justamente, para provocar danos.

Desconsiderando-se as causas estruturais a que as construções estão sujeitas devido ao excesso de tensões provocadas pela sua carga atuante, os mecanismos que causam a deterioração dos revestimentos de alvenarias de construções antigas, antes de qualquer intervenção através de trabalhos de restauração, podem ser atribuídos a causas químicas e/ou físicas.

Estes fenômenos que determinam a durabilidade do edifício estão ligados, principalmente, aos fenômenos de transporte de elementos, combinado com o calor, umidade e substâncias químicas, através da argamassa e a troca com o exterior (microclima), assim como os parâmetros que controlam os próprios mecanismos de transporte.

A água desenvolve um papel decisivo nas anomalias geradas nos revestimentos de edifícios, por dois motivos principais:

- a) primeiro, a água, em forma líquida ou de vapor está intimamente envolvida em todas as reações químicas que podem causar degradação;
- b) segundo, a água em forma líquida tem uma importante função ao levar um componente químico em direção ao outro, realizando, deste modo, um contato físico entre os dois elementos, sem o qual a reação química entre eles não poderia acontecer.

Por conseqüência, evitar a presença descontinuada de umidade nas alvenarias é uma necessidade. Este cuidado reduz consideravelmente as condições que dão início à degradação. Além disso, as alvenarias que sempre estiveram secas - e por isso não apresentaram qualquer degradação química - podem ter elementos no seu interior com potencial de interagir quimicamente e, assim, produzir componentes de deterioração na presença de umidade.

A verificação da existência de sais de cloreto, nitrato e sulfato em revestimentos argamassados constitui-se de um experimento simples e rápido, mas para quantificar a existência desses sais, os métodos mais utilizados são aqueles efetuados em laboratórios, cujo custo é alto e o tempo despendido pode ser considerado como relativamente longo.

A relação entre condutividade elétrica e concentração de sal em soluções aquosas é bastante conhecida e aplicada nos campos da química, biologia e agronomia entre outros. Essa relação é frequentemente utilizada para medir a quantidade de sal em água, no solo ou em adubos. Baseado nesses dados foi desenvolvido um trabalho de graduação no curso de Arquitetura e Urbanismo, no segundo semestre de 2008, orientado pelo Professor Sérgio Nappi, cujo objetivo



era o de analisar empiricamente a viabilidade da utilização de um condutímetro para quantificar os sais em uma solução dentro de um determinado intervalo de concentrações.

Os resultados mostraram que a determinação da concentração de cloreto de sódio, nitrato de sódio e sulfato de sódio em solução aquosa pode ser facilmente determinada por meio da medição de sua condutividade elétrica.

A aplicação do condutímetro para a determinação do nível de sal presente em argamassas, no entanto, exige a criação de parâmetros que relacionem os dados encontrados empiricamente em solução aquosa com os dados passíveis de serem obtidos na prática.

2 DEFINIÇÃO DE SAL

Segundo Galo Netto [3], o sal pode ser definido como *"compostos provenientes ou dos ácidos, pela substituição total ou parcial dos seus hidrogênios ionizáveis por cátions, ou das bases, pela substituição total ou parcial dos grupos OH pelos ânions dos ácidos"*. Ou seja, o sal é uma substância iônica resultante da reação química entre um ácido e uma base. Hardwik [4] afirma que quando um íon se dissolve e deixa a superfície do cristal, ele carrega consigo uma camada de moléculas solventes. Se o solvente for a água, esses íons são chamados de hidratados. Às vezes, as moléculas do solvente podem estar ligadas fracamente e sem regularidade e, outras vezes, podem estar fortemente ligadas aos íons, numa estrutura complexa. Em muitos casos, as moléculas do solvente se ligam tão fortemente que acompanham os íons quando estes regeneram os cristais. Este cristal conterà, então, moléculas de água intercaladas em seu retículo, chamada de água de cristalização. Segundo Nappi [1], os novos cristais formados terão uma estrutura diferente daquela de forma anidra, podendo perder água após um aquecimento.

Nem todos os sais causam problemas nas edificações. Isso dependerá, exclusivamente, de seu grau de solubilidade e de seu nível de higroscopicidade, ou seja, a condição em que o sal adsorve água do meio ambiente. Características essas que determinarão a sua periculosidade e a sua reponsabilidade pelos danos ocorridos. Para Galo Netto [3], os sais considerados insolúveis *"sofrem uma pequeníssima dissociação iônica em água (na prática considera-se que não a sofrem)"*.

Ao se dissolverem e se cristalizarem muitas vezes, os sais retêm certa quantidade de água em sua estrutura cristalina, cujo valor depende das condições de temperatura e umidade, provocando um aumento no seu volume, o que origina uma pressão de hidratação contra as paredes dos poros daqueles materiais em que o sal está inserido, podendo, inclusive, rompê-lo. Nappi [1] compara esse efeito ao efeito da água ao se congelar e salienta que esse fato pode ocorrer tanto em edifícios antigos, quanto em edifícios contemporâneos.

Buergo e Limón [5] indicam a pressão originada pelo aumento do volume de alguns sulfatos ao passar do estado anidro para o estado hidratado (Tabela 1). Essa pressão é denominada de pressão de hidratação. Segundo Nappi [1], esses valores são teóricos e algumas condições especiais, que não foram citadas no texto, devem ter sido consideradas pelos autores.

Tabela 1 - Pressão originada pelo aumento de volume de alguns sais ao hidratar-se

Sal Anidro	Sal Hidratado	Pressão (kg/cm ²)
Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	250
MgSO ₄	MgSO ₄ .7H ₂ O	250
CaSO ₄	CaSO ₄ .2H ₂ O	1100

Fonte: BUERGO e LIMÓN (1994)



Arendt [6], afirma que os sais mais prejudiciais para as edificações são os cloretos, nitratos e sulfatos. Em termos do nível de degradação ocasionado pelos sais em argamassas de reboco, existe uma tabela, criada pelo instituto alemão “*Institut für Gebäudeanalyse und Sanierungsplanung – IGS*” que, de acordo com Arendt [6], foi desenvolvida através de processos práticos no referido instituto. Nappi e Tonerá [7] complementaram esta tabela com o acréscimo do nível IV – muito alta, conforme pode ser observado na Tabela 2, abaixo. Os autores salientam que a partir do nível III, a velocidade de degradação das superfícies é muito acelerada. Nesse caso, qualquer processo de recuperação com materiais convencionais tem uma vida útil em torno de 3 anos. Vale ressaltar que a tabela não indica o grau de degradação no caso da existência de dois ou mais sais simultaneamente, fato este, segundo Nappi e Tonerá [7], comum em edifícios históricos.

Tabela 2 - Grau de sobrecarga dos principais sais higroscópicos

Grau de sobrecarga	Cloreto (%) *	Nitrato (%) *	Sulfato (%) *
0 – mínimo	0,000-0,004	0,000-0,016	0,000-0,024
I – pouco	0,005-0,030	0,017-0,050	0,025-0,077
II médio	0,031-0,090	0,051-0,160	0,078-0,240
III – alto	0,091-0,280	0,161-0,500	0,241-0,770
IV - muito alto	> 0,281	> 0,501	> 0,771

* - em relação a massa do material Fonte: NAPPI e TONERA [7]

Observa-se na Tabela 2, que os sais que provocam mais danos às argamassas são, em ordem decrescente, os cloretos, os sulfatos e os nitratos, já que uma menor quantidade de sal proporciona um mesmo nível de contaminação.

Em pesquisas realizadas com os mesmos sais no Laboratório de Tecnologia do Restauro da Universidade Federal de Santa Catarina, chegou-se a resultados divergentes. O sulfato apresentou-se, visivelmente, como o sal mais danoso no período imediatamente posterior ao experimento (2 meses), como pode ser visto na Fig. 1.

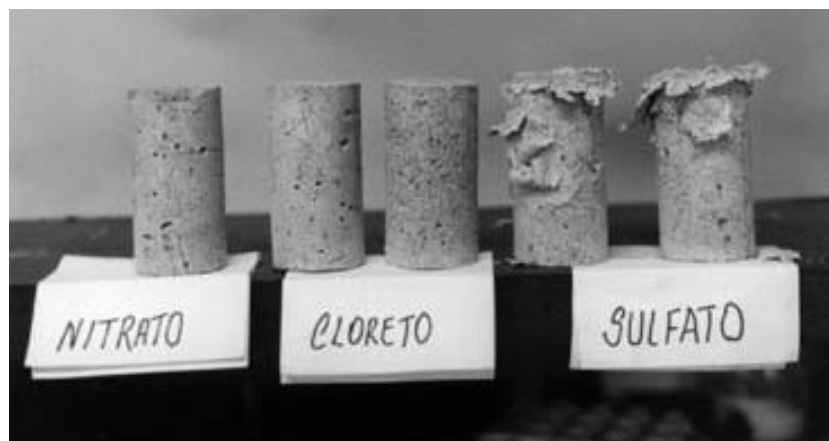


Figura 1: Visão geral dos corpos de prova à base de cal e areia, após uma sobrecarga de sais higroscópicos. Fonte: Nappi [1]

Esses mesmos corpos de prova podem ser observados na Fig. 2 quando, dez anos após a sua confecção, a configuração dos danos causados pelos sais de nitrato, cloreto e sulfato, alteraram-



se significativamente. Observa-se agora que os corpos de prova mais degradados são aqueles contaminados por sais de nitrato e não de sulfato, conforme a mesma pesquisa anos antes, ou conforme a pesquisa realizada pelo Instituto alemão citado anteriormente, que mostrava os sais de cloreto como os mais prejudiciais.



Figura 2: Visão geral dos corpos de prova à base de cal e areia, após 10 anos de sobrecarga de sais higroscópicos. Foto: Sérgio Nappi

Com o exposto até aqui e diante das divergências das pesquisas citadas, conclui-se que é muito difícil determinar-se a ordem de agressividade dos sais de nitrato, cloreto e sulfato, já que existem diversas variáveis que podem ser levadas em consideração, desde o tempo de contaminação, até as condições ambientais às quais estarão expostos os materiais afetados.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa propõe a verificação da potencialidade de um condutivímetro na quantificação de sais (cloreto, nitrato e sulfato) presentes em argamassas de cal e areia e em argamassas de cimento, cal e areia.

A relação entre condutividade elétrica e concentração de sal em soluções aquosas é bastante conhecida e aplicada nos campos da química, biologia e agronomia entre outros, e é frequentemente utilizada para medir a quantidade de sal em água, no solo ou em adubos. Para quantificar a existência desses sais em revestimentos argamassados, os métodos mais utilizados são aqueles efetuados em laboratórios, cujo custo é alto e o tempo despendido pode ser relativamente longo. Ainda não é usual a utilização de condutivímetros para tal quantificação.

O objetivo desta pesquisa foi o de utilizar o condutivímetro na determinação do nível de cloretos, sulfatos e nitratos presentes em argamassas, a fim de criar parâmetros que relacionassem a velocidade da corrente elétrica com a quantidade de sais presentes na argamassa.

3.1 Ensaio Proposto

Para a realização do ensaio foram confeccionados 21 corpos de prova de argamassa de cal e areia, no traço 1:3 (em massa) e 21 corpos de prova de cimento, cal e areia, no traço 1:2:8 (em massa), contaminados com três diferentes sais (cloreto, nitrato e sulfato, todos de sódio) em quantidades pré-estabelecidas, conforme a Tabela 3, abaixo. A partir dos dados obtidos na medição de sua condutividade elétrica, foram propostos parâmetros que relacionassem esses dados com as concentrações previamente depositadas nas respectivas argamassas.



Tabela 3 - Concentração de Sais nas Argamassas

Concentração / Solução	0,40%	0,80%	1,20%
NaCl	Solução1	Solução2	Solução3
NaNO ₃	Solução4	Solução5	Solução6
NaSO ₄	Solução7	Solução8	Solução9
NaCl + NaNO ₃	Solução10	Solução11	Solução12
NaCl + NaSO ₄	Solução13	Solução14	Solução15
NaNO ₃ + NaSO ₄	Solução16	Solução17	Solução18
NaCl +NaNO ₃ + NaSO ₄	Solução19	Solução20	Solução21

3.2 Equipamentos e Materiais

Para a medição da corrente elétrica foi utilizado o condutivímetro HANDYLAB 1, E BLUELINE 24 PH da marca SCHOTT. O sensor do aparelho foi inteiramente mergulhado em cada solução, e após cerca de 5 segundos foram feitas as leituras e registrados os resultados. Entre cada medição o sensor foi mergulhado em um recipiente com água deionizada para limpeza e checagem da leitura zero de condutividade.

Para a confecção das argamassas procedeu-se a secagem da areia e posteriormente ao seu peneiramento. Após descartar-se a areia retida na peneira 2.4 mm e no fundo, a areia foi armazenada em dessecador de vidro para evitar o processo de adsorção de umidade.

Deu-se sequência a secagem dos sais de cloreto, nitrato e sulfato e o seu armazenamento em dessecador de vidro. Os sais foram pesados e separados conforme concentração pré-estabelecida para cada tipo de solução, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Concentração de Sais nas Argamassas no Experimento

Concentração/ Solução	0.4%	0.8%	1.2%
NaCl	0.25g	0.50g	0.74g
NaNO ₃	0.25g	0.50g	0.74g
NaSO ₄	0.25g	0.50g	0.74g
NaCl + NaNO ₃	0.12g + 0.12g	0.25g + 0.25g	0.37g + 0.37g
NaCl + NaSO ₄	0.12g + 0.12g	0.25g + 0.25g	0.37g + 0.37g
NaNO ₃ + NaSO ₄	0.12g + 0.12g	0.25g + 0.25g	0.37g + 0.37g
NaCl +NaNO ₃ + NaSO ₄	0.08g + 0.08g + 0.08g	0.17g + 0.17g + 0.17g	0.25g + 0.25g + 0.25g

Foram confeccionados 21 corpos de prova de argamassa de cal e areia, no traço 1 : 3 (em massa) e 21 de cimento, cal e areia, no traço 1 : 2 : 8 (em massa). Os corpos de prova de cal e areia foram confeccionados a partir de 60 g de materiais secos e os corpos de prova de cimento, cal e areia, a partir de 61.9 g de materiais secos.

3.3 Confeção das Argamassas

Os materiais secos foram distribuídos em 42 recipientes numerados segundo as concentrações de sais pré-estabelecidas. Na sequência, cada amostra foi misturada, individualmente, a 20 g de água. Após a confecção das argamassas, os corpos de prova foram reservados por um período de 7 dias (Fig. 3).



Figura 3: Confeção dos Corpos de Prova (Foto: Acervo Pessoal)

3.4 Determinação da Presença de Sais

Conforme citado anteriormente, a verificação da existência de sais de cloreto, nitrato e sulfato em revestimentos argamassados constitui-se num experimento simples e expedito. O processo inicial pode ser visto na Fig. 4. Na sequência estão descritos os processos específicos para verificação da presença de cada um dos sais (cloreto, sulfato e nitrato).



1. Tritura-se o corpo de prova.



2. Separa-se uma quantidade da amostra.



3. Acrescenta-se água deionizada, agitando-se a mistura em seguida.



4. Filtra-se a amostra.

Figura 4: Processo inicial para a determinação da presença de sais em argamassas

- a) Determinação da presença de Cloreto: pingar 3 gotas de ácido nítrico num dos tubos, agitando-o. Em seguida, pingar outras 3 gotas de nitrato de prata e verificar se houve ou não precipitação (Fig. 5). Havendo precipitação, confirma-se a presença de Cloreto.



Figura 5: Determinação da presença de Cloreto (Foto: Acervo Pessoal)

- b) Determinação da presença de Sulfato: pingar 3 gotas de ácido clorídrico noutro tubo, agitando-o. Em seguida, pingar outras 3 gotas de cloreto de bário e verificar se houve ou não precipitação. Havendo precipitação, confirma-se a presença de Sulfato.
- c) Determinação da presença de Nitrato: colocar a substância num pires de porcelana branco e pingar 3 gotas da solução com difenilamina com ácido sulfúrico (1%) e verificar se houve ou não mudança de cor para azul escuro (Fig. 6). Se houver mudança de cor, confirma-se a presença de Nitrato.



Figura 6: Determinação da presença de Nitrato

3.5 Leitura da Corrente Elétrica

Finalizando os ensaios, cada corpo de prova foi triturado integralmente, separado em recipientes devidamente numerados e teve seu peso registrado (Fig. 7).



Figura 7: Corpos de prova triturados e separados



Para cada uma das amostras adicionou-se 10 vezes o seu valor, em massa, de água. A mistura foi feita com o auxílio de um bastão de vidro e, após dois minutos, tempo necessário para precipitação, fez-se três leituras de corrente elétrica para cada uma das soluções, individualmente (Fig. 8).



Figura 8: Leitura da corrente elétrica

5 RESULTADOS

Os Gráfico 2 e 3 apresentam o aumento da condutividade elétrica relativo ao aumento da concentração de sal para as três soluções simples: solução de cloreto de sódio, solução de nitrato de sódio e solução de sulfato de sódio.

Gráfico 1: Argamassa de Cal e Areia – Soluções Simples

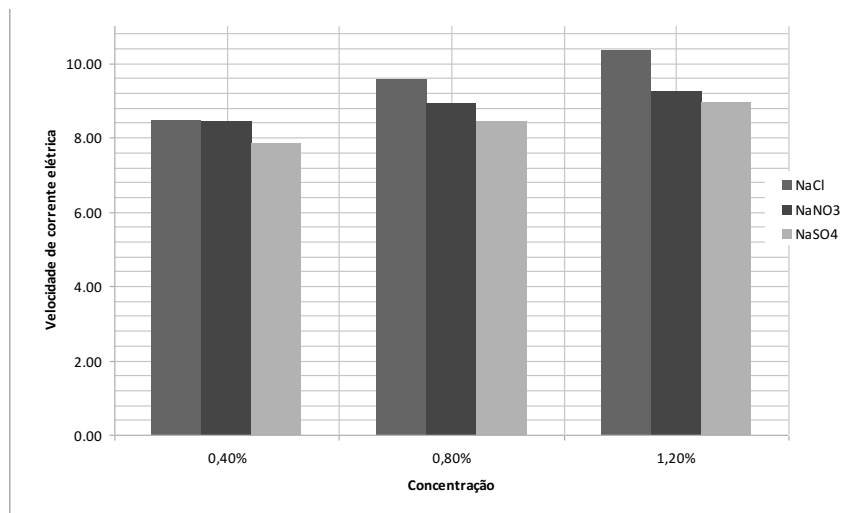
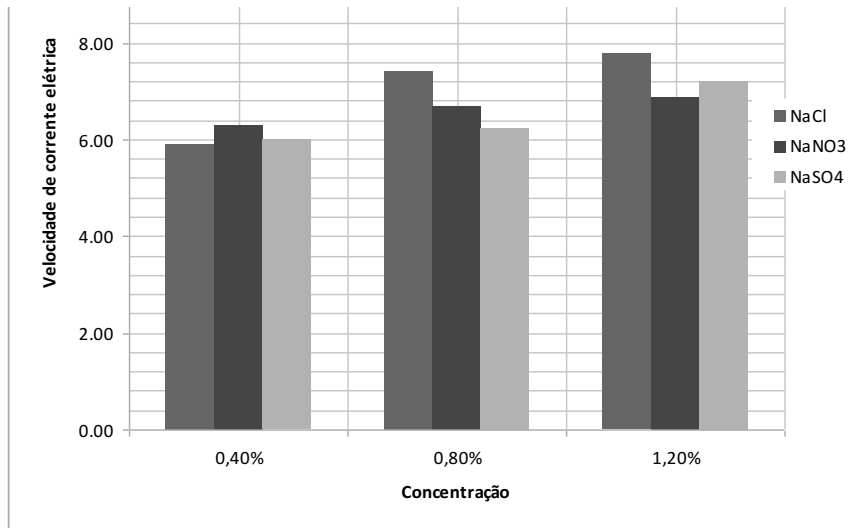




Gráfico 2: Argamassa de Cimento, Cal e Areia – Soluções Simples



Os Gráfico 3 e 4 apresentam o aumento da condutividade elétrica relativo ao aumento da concentração de sal para as quatro soluções compostas, para os corpos de prova de cal e areia e para os corpos de prova de cimento, cal e areia, respectivamente.

Gráfico 3: Argamassa de Cal e Areia – Soluções Compostas

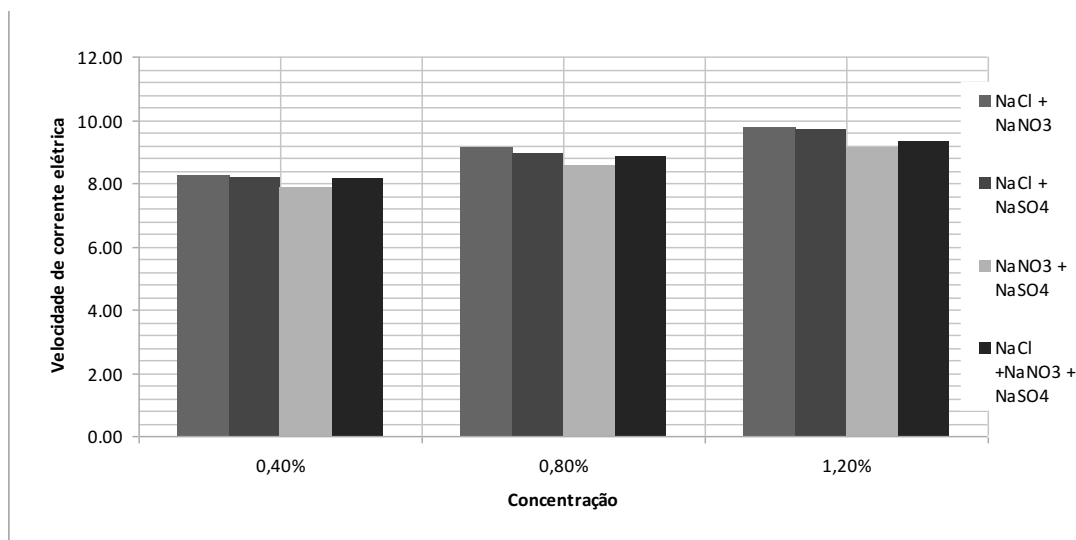
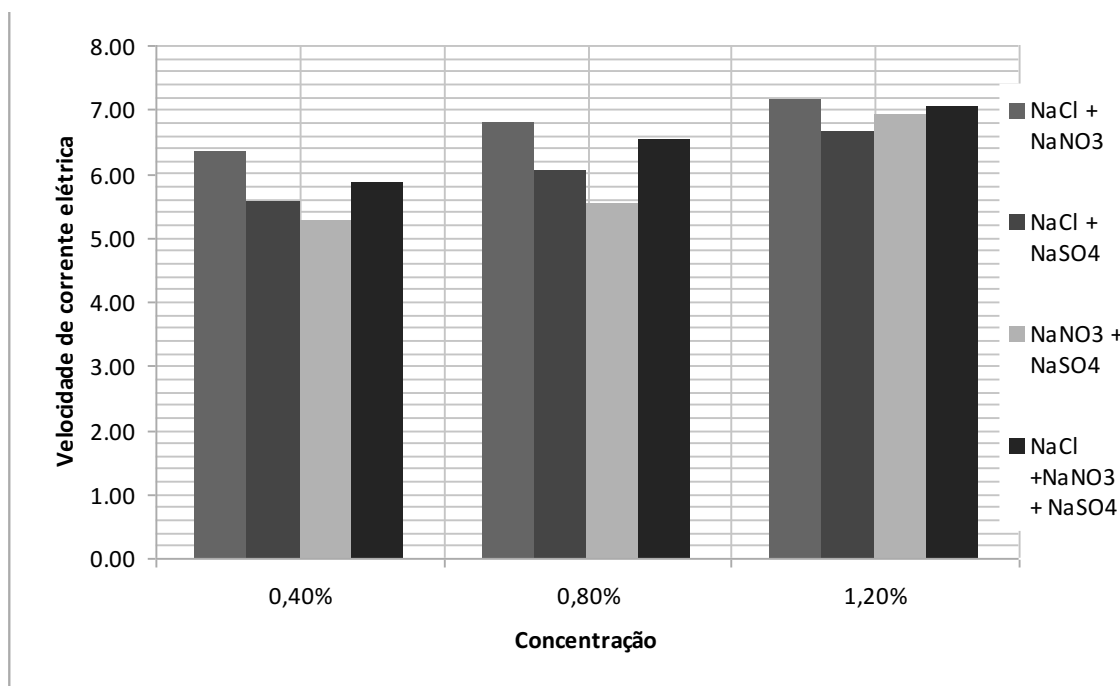




Gráfico 4: Argamassa de Cimento, Cal e Areia – Soluções Compostas



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda são poucos os estudos existentes sobre os sais e, por consequência, a divulgação de serem a causa de vários danos nas argamassas é pouco difundida. Muitas vezes, esse fato leva a registrar-se a umidade como elemento responsável por muitas anomalias. Desta forma, as soluções apresentadas nem sempre são as mais eficazes na eliminação definitiva do problema existente.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados mostram que é possível quantificar-se, com aproximação, o nível de concentração de cloreto, nitrato e sulfato de sódio, presentes em argamassas contaminadas. Assim sendo, a utilização do condutímetro na quantificação de sais em argamassas apresentou-se como um método prático e rápido, possível de ser realizado in loco.

Recomenda-se, para se alcançar uma maior precisão nos resultados, a realização de novos ensaios, com um número significativo de amostras.

REFERÊNCIAS

- [1] NAPPI, Sérgio C. B. (2002). "Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil de rebocos com salinidade em edifícios históricos". Florianópolis, 114 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC.
- [2] BUENO, Eduardo. (2003) "Brasil: Uma História – A incrível Saga de um País". Rio de Janeiro: Ática.
- [3] GALLO NETTO, C. (1995). "Química: da teoria à realidade". São Paulo: Scipione, volume 1.
- [4] HARDWICK, E. Russel. Química. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1965.
- [5] BUERGO, Mônica Alvarez e LIMÓN, Tereza Gonzalez. Restauración de Edificios Monumentales. Madri: Laboratorio Central de Estructuras y Materiales - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1994.
- [6] ARENDT, Claus. Métodos de Tratamento de Alvenarias Deterioradas: Utilização de Rebocos de Recuperação e Medidas de Combate aos Sais. In: "Seminário de Recuperação de Obras Históricas de



Engenharia e Arquitetura: Avaliação do Estado de Conservação, Análise , Diagnóstico e Terapia”.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 1995.

[7] NAPPI, Sérgio C. B. e TONERA, Roberto. Alvenarias Degradadas por Umidade e Salinidade - Estudo de Caso na Fortaleza de Anhatomirim. In: “IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade”. Anais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: 1997. v.2